

Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Adéla Horáková

Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta
Katedra biologie a environmentálních studií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Rostlinná barviva a jejich využití ve výuce botaniky
Plant Pigments and Their Utilization in Botany Teaching

Adéla Horáková

Vedoucí práce: RNDr. Jana Skýbová, Ph.D.

Studijní program: Specializace v pedagogice

Studijní obor: Biologie, geologie a environmentalistika se zaměřením na
vzdělávání – Chemie se zaměřením na vzdělávání

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Rostlinná barviva a jejich využití ve výuce botaniky vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále prohlašuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Ve Zbiroze dne 16. 4. 2018

Na tomto místě bych ráda poděkovala mé vedoucí RNDr. Janě Skýbové, Ph.D. za cenné rady, trpělivost při konzultacích a pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Josefu Vinšovi a také mé rodině za jejich podporu během celého mého studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá rostlinnými barvivy a jejich využitím ve výuce botaniky, případně i v hodinách chemie.

Na začátku teoretické části je popsána definice teorie barvy jako vjemu a rovněž definici barevného spektra. Následně se práce věnuje stručné charakteristice vlastností, vzniku a výskytu barviv v rostlinném organismu. Poměrně obsáhle jsou rostlinné pigmenty popsány a rozděleny do skupin podle chemické struktury a jejich obsahové složky. Stručně se práce také zabývá izolací rostlinných pigmentů z jednotlivých částí rostlin. Na tuto kapitolu navazují vybraní rostlinní zástupci, kteří se využívali nebo využívají pro získání barviv. Součástí je také několik úloh, které lze využít při demonstraci rostlinných pigmentů ve výuce. Každá úloha obsahuje fotografie. Za každým pokusem se nachází pracovní list s doplňujícími úkoly nebo laboratorní protokol. V příloze lze nalézt jejich řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

rostlinná barviva, přírodní barviva, pracovní listy, pokusy, aditiva

ANNOTATION

This bachelor thesis concerns plant pigments and their usage in teaching botany, or in chemistry lessons.

At the beginning of the theoretical part of the thesis the definition of theory of pigment as a perception is given, as well as that of colour spectrum. After that the work focuses on concise description of qualities, origin and occurrence of the pigments in a plant organism. The plant pigments are fairly extensively described and divided into group according to their chemical structure and their content components. Limited space is also given to isolation of the pigments from various parts of the plant. The thesis contains several exercises, which can be used for demonstration of the plant pigments in class, as well. Each exercise includes photography. Each is also followed by a worksheet with additional tasks or laboratory protocols. The solutions for all the exercises can be found in the appendix.

KEYWORDS

plant pigments, natural pigments, worksheets, experiments, additives

Obsah

1	Úvod	9
2	Barva a barevné spektrum	10
3	Charakteristika rostlinných barviv	11
3.1	Vznik barviv	11
3.2	Vliv pH na barviva.....	11
3.3	Výskyt v rostlinách	12
3.3.1	Plastidová barviva	12
3.3.2	Vakuolární barviva	12
3.4	Funkce barviv v rostlině	12
4	Dělení barviv dle struktury a chemického složení.....	14
4.1	Dusíkaté heterocyklické sloučeniny	14
4.1.1	Pyrolová barviva	14
4.1.2	Indolová barviva	17
4.1.3	Isochinolinová barviva	18
4.1.4	Pyrimidinová barviva?.....	19
4.1.5	Purinová barviva.....	19
4.1.6	Pteriny.....	19
4.1.7	Flavinová barviva (isoalloxaziny)	20
4.1.8	Fenazinová barviva.....	20
4.1.9	Fenoxazinová barviva.....	20
4.2	Kyslíkaté heterocyklické sloučeniny	20
4.2.1	Pyranová barviva	20
4.3	Fenolová a chinonová barviva	24
4.3.1	Stilbeny.....	24
4.3.2	Kurkuminoidy.....	24
4.3.3	Chinony	24
4.3.4	Tropony	26
4.4	Terpenoidy	26
4.4.1	Karotenoidy	27
4.4.2	Iridoidy	29
5	Izolace barviv a jejich použití.....	30
6	Vybraní zástupci rostlin.....	32

6.1	Světlice barvířská (<i>Carthamus tinctorius</i>)	32
6.2	Mořena barvířská (<i>Rubia tinctorum</i>)	33
6.3	Boryt barvířský (<i>Isatis tinctoria</i>)	33
6.4	Indigovník barvířský (<i>Indigofera tinctoria</i>)	34
6.5	Kopřiva dvoudomá (<i>Urtica dioica</i>)	35
6.6	Pivoňka lékařská (<i>Paeonia officinalis</i>)	36
6.7	Bez černý (<i>Sambucus nigra</i>)	37
6.8	Rezeda (rýt) barvířská (<i>Reseda luteola</i>)	38
6.9	Kurkumovník dlouhý (<i>Curcuma longa</i>)	39
6.10	Aksamitník vzpřímený (<i>Tagetes erecta</i>)	40
6.11	Třezalka tečkovaná (<i>Hypericum perforatum</i>)	41
6.12	Ořešák královský (<i>Juglans regia</i>)	42
6.13	Šafrán setý (<i>Crocus sativus</i>)	43
6.14	Oreláník barvířský (<i>Bixa orellana</i>)	44
6.15	Řepa obecná (<i>Beta vulgaris</i>)	45
7	Rostlinná barviva v seznamu „éček“	46
8	Náměty pro práci s rostlinnými barvivy ve výuce	48
8.1	Změna květu rostliny působením SO ₂	48
8.1.1	Doplňující úlohy: Změna květu rostliny působením SO ₂	49
8.2	Změna roztoku obsahující anthokyany působením SO ₂	50
8.2.1	Doplňující úlohy: Změna roztoku obsahující anthokyany působením SO ₂ ..	53
8.3	Změna barvy pigmentů v závislosti na pH	54
8.3.1	Pracovní list: Změna barvy pigmentů v závislosti na pH	57
8.4	Obsahuje červená paprika více než jedno barvivo?	59
8.4.1	Pracovní list: Obsahuje červená paprika více než jedno barvivo?	61
8.5	Obsahují fialové listy chlorofyl?	63
8.5.1	Pracovní list: Obsahují fialové listy chlorofyl?	65
9	Závěr	67
10	Zdroje	68
10.1	Seznam použité literatury	68
10.2	Seznam internetových zdrojů	70
11	Přílohy	74

1 Úvod

Barvy a barevné látky obklopují člověka od nepaměti. Skoro stejně tak dlouho se je člověk snaží zpracovávat a využívat. V minulých stoletích došlo k velkému rozvoji a produkci syntetických látek, které nahradily a stále nahrazují v jisté míře látky přírodní získávané z živočichů nebo z rostlin, ať už jde například o sladidla nebo o barviva. Důvodů je hned několik. Mezi ty nejdůležitější však patří úspora místa na chov nebo pěstování a především poměrně nízká nákladnost výroby syntetických produktů. V posledních letech však začíná být moderní navracet se zpět k jakémusi „souznění s přírodou“, a tím pádem i ke snaze odbourat syntetické chemické látky a znovu se vrátit k přírodním formám. Mezi tyto látky lze zařadit i přírodní barviva, jejichž používání firmami v průmyslových odvětvích, a to především v potravinářství, je v dnešní době velmi vyzdvihováno a medializováno.

V této práci bych se chtěla zaměřit na charakteristiku rostlinných barviv, přiblížit jejich vznik, výskyt v rostlině a jejich hlavní funkce. Dále bych chtěla popsat vybrané rostlinné zástupce i s jejich použitím. V neposlední řadě provést několik pokusů s rostlinnými pigmenty, které by bylo možné provést při výuce botaniky, konkrétně například společně s problematikou fotosyntézy, popřípadě v hodinách chemie jako zajímavé využití přírodních látek. Pro tuto práci jsem si tedy stanovila následující cíle, které shrnují celou problematiku rostlinných pigmentů.

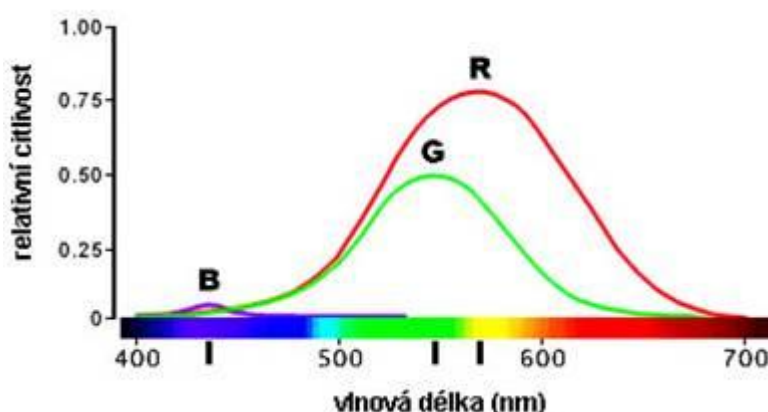
Cíle práce:

- Definovat rostlinná barviva, jejich vznik, některé vlastnosti, výskyt a funkci.
- Popsat rozdělení barviv podle struktury a chemického složení.
- Charakterizovat vybrané zástupce rostlin využívaných pro izolaci barviv.
- Vytvořit seznam evidenčních kódů označujících rostlinná barviva.
- Navrhnout náměty pro práci s rostlinnými barvivy ve výuce botaniky.

2 Barva a barevné spektrum

Barvu lze považovat za schopnost lidského oka rozlišovat různé vlnové délky elektromagnetického vlnění v rozmezí (obrázek 1) mezi 400 (jeví se jako fialové odstíny) až 700 nm (jeví se jako červené odstíny) nebo vnímat výsledek vzniklý složením několika vlnových délek světelného záření dohromady. Tato viditelná část elektromagnetického záření se označuje jako barevné spektrum. Z fyzikálního pohledu záleží u výsledné barvy na tom, jaké vlnové délky světelného záření jsou pohlceny, vyzářeny nebo propuštěny přes látku nebo těleso. Výsledná barva látky nebo tělesa u člověka je určena a lidským mozkem vyhodnocena podle toho, jaké vlnové délky světelného záření vstoupí do lidského oka.

Paprsky světla prostupují lidským okem a dopadají na sítnici převráceně a zmenšeně. Vnímání světla člověku umožňují buňky nazývané čípky a tyčinky, které jsou součástí sítnice. Barevné vidění umožňují čípky, které existují ve třech typech: čípky citlivé na modrou, čípky citlivé na červenou a čípky citlivé na zelenou část spektra. Křivky, které popisují citlivost na jednotlivé barvy, jsou zobrazeny na obrázku č. 1. Tyčinky slouží k rozpoznávání světelné intenzity. Ze sítnice se vyvolaný nervový vzruch přenáší optickým neboli zrakovým nervem. Z levých polovin sítnice putují impulsy levou částí mozku, z pravých polovin sítnice putují pravou částí, tyto dráhy se nazývají *tractus opticus*. Dále impulsy přechází přes talamus až do zrakové oblasti mozku, která se nachází v týlním laloku koncového mozku. V temporálním laloku koncového mozku dochází k rozlišování barev (ČOPÍKOVÁ, UHER, LAPČÍK, MORAVCOVÁ a DRAŠAR 2005; REICHL a VŠETIČKA 2007; REICHL a VŠETIČKA 2008; ROKYTA 2016).



Obrázek 1: rozmezí vlnových délek viditelného záření, zobrazení citlivosti čípků na vlnové délky
Zdroj: Reichl a Všeticka (2011)

3 Charakteristika rostlinných barviv

Za rostlinné barvivo se považuje látka, která se vyskytuje v jakékoliv části rostlinného materiálu a lidskému se jeví jako barevná. Dá se říct, že rostlinná barviva se vyskytují u všech vyšších rostlin, a to převážně v jejich nadzemních částech. Barevné pigmenty lze nalézt jak ve stonku, v listech, květech, tak i v plodech prakticky v celé barevné škále. U nižších rostlin se vyskytují také hojně. Stálost rostlinných pigmentů je různá. Mezi vnější působící vlivy patří například pH prostředí, světelné záření, teplota prostředí nebo přítomnost jiných chemických látek.

Kategorizace rostlinných barviv může probíhat dle nejrůznějších kritérií, mezi které patří například chemické hledisko a struktura barviv, výskyt v rostlině, případně v buňce, rozpustnost ve vodě nebo dělení na základě barevného spektra (ČOPÍKOVÁ a kol. 2005; VELÍŠEK 2002).

3.1 Vznik barviv

Většina rostlinných pigmentů vzniká jako produkt sekundárního metabolismu. Sekundární metabolismus zajišťuje rostlině produkty, které většinou nejsou nezbytně důležité pro růst a další vývoj rostlin. Má tedy doplňující a podpůrné vlastnosti. Další vlastností těchto metabolitů se jeví fakt, že mohou být charakteristické pro určitý organismus, případně jeho část, nebo se mohou specificky vytvářet. Sekundární metabolity nemusí být definitivní sloučeninou v organismu. Mohou dále podléhat chemickým reakcím (HARMATHA 2002; VODRÁŽKA 1998).

3.2 Vliv pH na barviva

Nejvýraznější změny v závislosti na pH projevuje skupina barviv nesoucí název anthokyany. Kyselost popřípadě zásaditost barviv závisí na poloze substituentů, druzích substituentů a jejich počtu na aromatickém jádře. I projev pH prostředí, ve kterém se pigmenty nachází, je poté viditelný na výsledné barvě rostliny. Čím červenější se květ jeví, tím kyselejší je prostředí, naopak čím více je květ modrý, tím zásaditější, vyšší pH charakterizuje dané prostředí.

Významně podléhají změnám pH i lišejníky. V chemických laboratořích slouží běžně jako indikátory pH, a to v podobě barviva získaného především ze zástupce skalačky barvířské (latinsky *Rocella tinctoria*). Tento typ indikátorů je známý pod názvem lakmus. Běžně se používá ve formě lakmusových papírků, což představuje papírek napuštěný touto látkou.

V neutrálním prostředí se lakmusový papírek zbarvuje fialově. V kyselém prostředí mění svoji barvu na červenou, v zásaditém prostředí pak na modrou (BIDLOVÁ 2005; KAKHIA 2015; VELÍŠEK 2002).

3.3 Výskyt v rostlinách

Rostlinná barviva se nachází až na výjimky ve všech částech rostliny. Jejich lokalizace v rámci jedné buňky je poněkud omezená vzhledem k tomu, že barviva mají charakter buď lipofilní, nebo hydrofilní. Zpravidla lze dle výskytu v buňce rozdělit pigmenty do dvou skupin, vakuolární a plastidové. Některá z nich lze nalézt například i v cytoplazmě. Například karotenoidy se ve vazbě na bílkoviny nacházejí v cytoplazmě buněk (KUBIENOVÁ a VINTER 2013; VODRÁŽKA 2002).

3.3.1 Plastidová barviva

Plastidy patří mezi orgány buněk. Tyto orgány ohraničují dvě membrány, mezi kterými se nachází mezimembránový prostor. Vnitřek plastidu tvoří stroma s thylakoidy. Existuje několik typů plastidů, pro rostlinná barviva představují chloroplasty a chromoplasty nejdůležitější skupiny. Chloroplasty obsahují především chlorofyly, které jsou nezbytné pro průběh fotosyntézy. Vyskytují se ve vazbě na tylakoidy. Společně s chloroplasty tvoří také karotenoidy zástupce plastidových barviv a slouží jako doplňující barviva při již zmíněné fotosyntéze. Plastidové pigmenty mají lipofilní charakter, což znamená, že se rozpouští v tucích, nikoliv ve vodě (VODRÁŽKA 2002; VOTRUBOVÁ 2017).

3.3.2 Vakuolární barviva

Vakuoly se nacházejí ve většině rostlinných buněk, výjimkou mohou být například buňky sekreční. Vakuolu ohraničuje membrána nazývaná tonoplast. Slouží především jako úložiště nejrůznějších látek rostliny, mezi které patří právě i některá rostlinná barviva. Pigmenty obsažené ve vakuole mají hydrofilní charakter, jsou tedy ve vodě rozpustné. Příkladem může být skupina anthokyanů, flavonoidů nebo betalainů (VELÍŠEK 2002; VOTRUBOVÁ 2017).

3.4 Funkce barviv v rostlině

Jednu z nejdůležitějších funkcí rostlinných barviv vykonávají chlorofyly, které jsou důležité pro průběh fotosyntézy. Mezi barviva doprovázející fotosyntézu patří karotenoidy. Barva rostlin, především květů, slouží zejména jako atraktant pro potenciální opylovače, barva plodů pak láká živočichy, kteří napomáhají k jejich roznosu. K tomu slouží převážně

anthokyaniny, které mohou plnit i funkci obrannou, a karotenoidy. Další funkcí barviv, konkrétně flavonů a flavonolů, je jejich ochrana rostliny před UV zářením (JAHODÁŘ 2012; VELÍŠEK 2002; VODRÁŽKA 2002).

4 Dělení barviv dle struktury a chemického složení

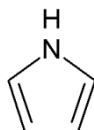
Další dělení barviv spočívá v jejich struktuře a obsahu jednotlivých chemických prvků různě začleněných do sloučenin. Lze tak rozdělit barviva do čtyř podskupin: heterocyklické sloučeniny, které obsahují dusík, heterocyklické sloučeniny s heteroatomem kyslíku, fenolová a chinonová barviva a poslední skupinu zastupují terpenoidy (VELÍŠEK 2002).

4.1 Dusíkaté heterocyklické sloučeniny

První skupinou rostlinných barviv jsou dusíkaté heterocyklické sloučeniny. Tyto látky můžeme popsat jako cyklické uhlovodíky, které mají ve svém cyklu neboli kruhu začleněn alespoň jeden atom dusíku nazývaný také jako heteroatom. Rostlinná barviva mohou obsahovat buď pětičlenné, šestičlenné, nebo kondenzované heterocyklické sloučeniny (McMURRY 2007).

4.1.1 Pyrrolová barviva

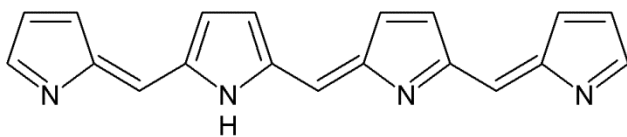
Mezi pyrrolová barviva řadíme takové sloučeniny, které se skládají z jednoho nebo více pyrrolů (obrázek 2). Můžeme je dále rozdělit do skupin právě podle počtu pyrrolových částí ve výsledné sloučenině. Rozlišujeme tedy monopyrroly, dipyrroly, tripyrroly a tetrapyrroly. Pyrrolová barviva jsou význačná jak v říši živočišné, tak i rostlinné. Pro rostliny však tetrapyrroly představují nejdůležitější skupinu (MAJUMDAR a CHATTOPADHYAY 2011; VELÍŠEK 2002).



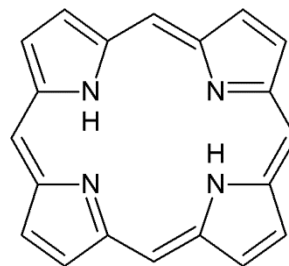
Obrázek 2: pyrrol
Zdroj: autor, podle McMurryho (2007)

Tetrapyrroly

U tetrapyrrolů se rozlišují dvě hlavní struktury. První z nich je cyklická forma, do které se řadí porfyriny (obrázek 4), kam patří nejvýznamnější rostlinná barviva chlorofyly. Druhou skupinu představuje lineární forma, kam spadají biliny (obrázek 3) neboli bilinová barviva (VELÍŠEK 2002).



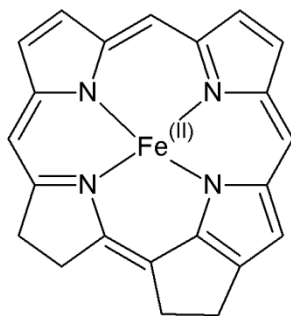
Obrázek 3: bilin
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)



Obrázek 4: základ porfyrinů
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

Porfyriny

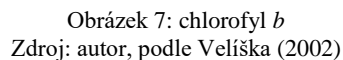
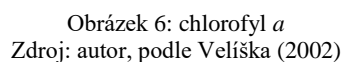
Významnou skupinu v živočišné říši tvoří hemová barviva (obrázek 5) červené barvy, vyskytující se ve svalových tkáních a červených krvinkách. U rostlin jsou přítomny obdobné struktury při přeměně energie získané při fotosyntéze na energii lépe využitelnou.



Obrázek 5: základ hemových barviv
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

Pro rostlinnou říši představují tetrapyrroly, konkrétně porfyriny, také důležité sloučeniny. Řadí se sem totiž chlorofylové pigmenty potřebné pro průběh fotosyntézy. Chlorofyly lze nalézt u většiny vyšších rostlin. Své místo mají i mezi nižšími rostlinami. Vyskytují se v meších, řasách, dokonce i v některých bakteriích.

V porfyrinovém cyklu chlorofylů je navázán hořčík s dvojmocným nábojem. Existuje několik druhů chlorofylů. Mezi nejznámější patří chlorofyl *a* (obrázek 6), chlorofyl *b* (obrázek 7), chlorofyl *c* a chlorofyl *d*. Rozdíl mezi chlorofyly *a* a *b* je v substituentu na uhlíku číslo 7. U chlorofylu *a* se zde nachází methylová skupina, u chlorofylu *b* formylová. Chlorofyl *d* se liší od chlorofylu *a* v substituentu na uhlíku 3, kde je místo ethenylu navázán karbaldehyd.



Chlorofyly se nerozpouští ve vodě, ale v tucích ano (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002; VODRÁŽKA 2002).

Biliny

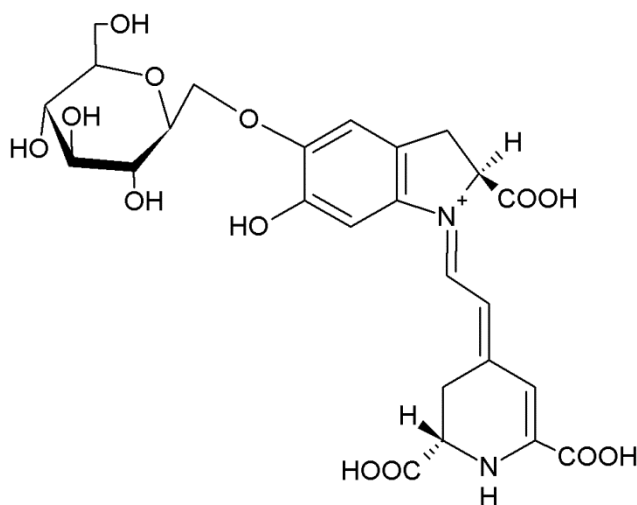
Mezi biliny patří fykobiliny, vyskytující se u řas, a žlučová barviva typická pro živočichy. Bilinová barviva vyskytující se u řas nebo ve žlučových barvivech se také označují jako fykobiliny a mají hydrofilní povahu. K nejznámějším bilinům patří červené fykoerytriny, modré fykokyaniny, allofykokyaniny a žlučový bilirubin nebo biliverdin (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

4.1.2 Indolová barviva

Indolová barviva jsou dusíkatá barviva, někdy nazývána jako dihydroindoly. Tato barviva jsou hydrofilní a vyskytují se ve formě červených, oranžových a žlutých odstínů. Mezi indolová barviva patří skupina betalainů a indolů (VELÍŠEK 2002).

Betalainy

Do skupiny betalainů spadá přes padesát červených, žlutých a oranžových hydrofilních barviv. Betalainy můžeme dále rozdělit na dvě podskupiny, a to betakyaniny a betaxanthiny. Betalainy jsou poměrně malou skupinou a v přírodě se vyskytují jen zřídka. Zajímavostí je, že se nikdy nevyskytují v přítomnosti modrých barviv anthokyanů. Najít lze tato barviva například u opuncí, a to konkrétně v plodech nebo v ličidle americkém. Mezi nejznámější však patří červené barvivo pocházející z řepy červené, které se používá i v potravinářství. Kvůli značné nestabilitě těchto pigmentů na světle, při vyšších teplotách a vyšším pH se používá jen k dobarvování potravin s nízkou trvanlivostí. Nejvýznamnější z betalainů je červený betanin (obrázek 8), patřící do podskupiny betakyanů, které se vyskytují ve vazbě na sacharidy. K nalezení je například v bulvě červené řepy.

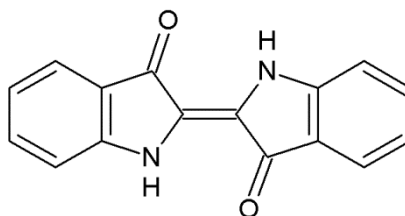


Obrázek 8: betanin
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

Do podskupiny betaxanthinů náleží například vulgaxanthin I a vulgaxanthin II, které jsou zbarveny dožluta. Betalainy se hojně využívají v potravinářství například k dobarvování sladkostí (KAKHIA 2015; MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

Indoly

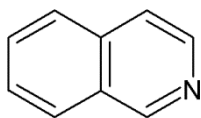
Indoly se vyskytují v rostlinách poměrně hojně, významné jsou však především jako barviva živočišná vyskytující se v kůži, srsti nebo vlasech v podobě melaninů. Nejznámějším indolem je bezpochyby indigo (obrázek 9), známé již od starověku, využívalo se k barvení textilií. Zdroj modré barvy představují rody indigovníku nebo borytu barvířského. Tyto rostliny obsahují indikan, který se oxidací za současného působení enzymů přeměňuje na indigo (KAKHIA 2015; MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 9: indigo
Zdroj: autor, podle Moravcové (2006)

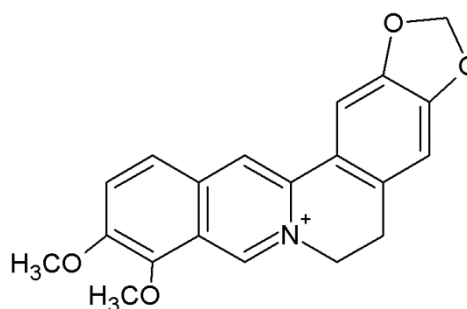
4.1.3 Isochinolinová barviva

Isochinolinová barviva jsou odvozena od dusíkatého heterocyklu isochinolinu (obrázek 10), který obsahuje dvě benzenová jádra. Nejběžnějším isochinolinem, který se vyskytuje například v dřevě alu obecném nebo mahonii cesmínolisté, je žlutý berberin (obrázek 11) (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 10: isochinolin

Zdroj: autor, podle Veliška (2002)



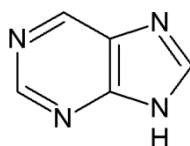
Obrázek 11: berberin

Zdroj: autor, podle Moravcové (2006)

4.1.4 Pyrimidinová barviva?

4.1.5 Purinová barviva

Základní stavební jednotkou purinových barviv je, jak již z názvu vyplývá, purin (obrázek 12). Tato barviva se vyskytují především v živočišné říši a mají především bělavou barvu. Příkladem mohou být rybí šupiny (VELÍŠEK 2002).

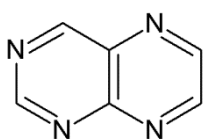


Obrázek 12: purin

Zdroj: autor, podle Veliška (2002)

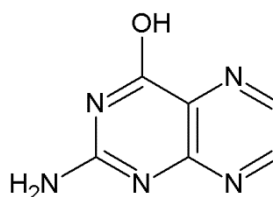
4.1.6 Pteriny

Základ všech pterinů tvoří pteridin (obrázek 13), popřípadě od něj odvozený pterin (obrázek 14), který má navíc aminovou skupinu na druhém uhlíku a hydroxylovou skupinu na uhlíku čtvrtém. Pteriny jsou opět skupinou důležitou hlavně v živočišné říši. V říši rostlinné je nalezneme jen zřídka, a to ve formě derivátů pterinu. Do této skupiny patří kyselina listová, mimo jiné důležitá i pro lidský organismus, představuje vitamin. Vyskytuje se například v listovém špenátu. U živočichů je lze nalézt například v křídlech motýlů, odkud získaly své jméno (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 13: pteridin

Zdroj: autor, podle Veliška (2002)

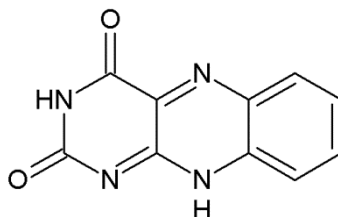


Obrázek 14: pterin

Zdroj: autor, podle Veliška (2002)

4.1.7 Flavinová barviva (isoalloxaziny)

Flavinová barviva mají základ ve sloučenině zvané isoalloxazin (obrázek 15), podle které se také někdy nazývají isoalloxaziny. Flaviny jsou žluté pigmenty využívané v potravinářském průmyslu. Patří sem i riboflavin, který lze označit také jako vitamin B₂, jenž je rozpustný ve vodě. Riboflavin se vyskytuje především v živočišné říši, v rostlinné říši jej obsahuje zelenina, například jarní cibulka nebo chřest (DUCKWORTH 2013; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 15: isoalloxazin
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

4.1.8 Fenazinová barviva

Fenaziny jsou strukturně příbuzné flavinům. Lze je nalézt především u některých bakterií ve formě žlutých pigmentů (VELÍŠEK 2002).

4.1.9 Fenoxazinová barviva

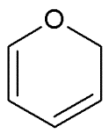
Fenoxaziny mají strukturu obdobnou jako fenaziny. Tyto pigmenty jsou obsaženy v lišejnících, které byly využívány jako barviva látek nebo potravin. Příkladem může být fialové barvivo orchil, které má však hydrofobní povahu, nebo lakmus (VELÍŠEK 2002).

4.2 Kyslíkaté heterocyklické sloučeniny

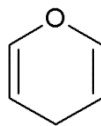
Druhou skupinou rostlinných barviv jsou kyslíkaté heterocyklické sloučeniny. Tyto látky jsou, stejně jako předchozí skupina, cyklické uhlovodíky, které na rozdíl od dusíkatých heterocyklů obsahují atom kyslíku. Stejně jako dusíkaté sloučeniny i kyslíkaté se mohou skládat z pětičlenných, šestičlenných cyklů i kondenzovaných sloučenin (McMURRY 2007).

4.2.1 Pyranová barviva

Všechna pyranová barviva mají základ ve sloučenině zvané pyran. Konkrétně jím může být 2H-pyran (obrázek 16) nebo 4H-pyran (obrázek 17). Často se vyskytují ve vazbě na sacharidy. Mezi pyranová barviva patří tyto skupiny: flavonoidy, xanthony a isochromeny (MORAVCOVÁ 2006).



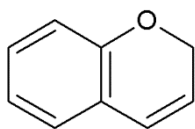
Obrázek 16: 2H-pyran
Zdroj: autor, podle Moravcové (2006)



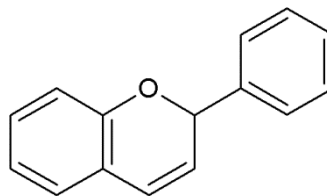
Obrázek 17: 4H-pyran
Zdroj: autor, podle Moravcové (2006)

Flavonoidy

Skupina flavonoidů je asi největší skupinou rostlinných barviv. Mezi flavonoidy se řadí okolo 4000 sloučenin se základem v 2H-chromenu (obrázek 18) se dvěma cykly a jedním heteroatomem kyslíku, popřípadě od něj odvozeného flavanu (obrázek 19) obsahujícího 3 cykly s jedním kyslíkem v prostředním heterocyklu neboli derivát 2H-chromenu se substituentem fenylové skupiny na uhlíku číslo 2. Tyto pigmenty zastupují především žlutou, červenou a modrou barvu a vyskytují se ve vakuolách buněk. Flavonoidy se často vyskytují ve vazbě se sacharidy a působí často jako antioxidanty (HARMATHA 2002; MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).




Obrázek 18: 2H-chromen
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)



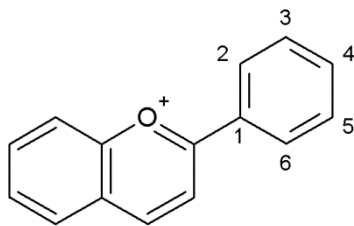
Obrázek 19: flavan
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

Anthokyaniny

Anthokyaniny neboli anthokyany patří mezi jednu z nejvýznamnějších skupin flavonoidů. Mezi anthokyany lze nalézt mnoho odstínů pigmentů od červené až po modrou. Důležité jsou též pro jejich hydrofilní povahu. Anthokyany se vyskytují ve vakuolách. Základní stavební jednotkou anthokyanů je anthokyanidin (obrázek 20). U všech známých anthokyanů se na uhlíku 4 fenylového zbytku (na obrázku 20) vyskytuje hydroxylová skupina. Rozdíly jsou v dalších substituentech, kterými jsou methylové, methoxy a hydroxylové skupiny. Mezi nejvýznamnější patří fialový kyanidin a peonidin, modrofialový malvidin a delfinidin, červený petunidin a fialovočervený pelargonidin. Malvidin se vyskytuje například v révě vinné. Anthokyany jsou často vázány na sacharidy.



The chemical structure shows a naphthalene ring system. The oxygen atom at the 1-position of the naphthalene is marked with a positive charge (+). A phenyl ring is attached to the 2-position of the naphthalene. The phenyl ring is numbered 1 through 6, starting from the carbon atom attached to the naphthalene ring and proceeding clockwise.



Zdroj: Velíšek (2002)

Anthokyaniny se využívají hojně v potravinářství, avšak pouze pro dobarvování potravin v silně kyselém prostředí, kde vykazují nejlepší vlastnosti jako aditiva (DOLEŽAL 2016; HARMATHA 2002; MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

Flavanony patří do skupiny žlutých pigmentů vyskytujících se například v citrusech nebo luštěninách. Příkladem může být hesperidin citrusů nebo apigenin nacházející se v heřmánku (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

Flavanonoly patří do skupiny světle žlutých barviv a vyskytují se jen zřídka. Lze je nalézt například u čeledi bobovitých, konkrétně u podzemnice olejné, své místo mají také v chmelu nebo česneku (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

Flavony se řadí vedle anthokyanů mezi jedny z nejvýznamnějších flavonoidních barviv. Patří do skupiny žlutých pigmentů, jsou k nalezení například v citrusech nebo u rodu fíkovníku, také v nati průtřzníků lysého a chlupatého (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

Flavonoly

Flavonoly patří společně s flavony a anthokyany do skupiny nejvýznamnějších žlutých barviv, jsou k nalezení například u citrusů. Flavony dále u rodu bavlníku, v čajovníku, jablkách nebo u brusnice borůvky (HARMATHA 2002; VELÍŠEK 2002).

Chalkony

Asi nejvýznamnější chalkon představuje karthamin červené barvy a safflorová žlutá žluté barvy, na které se váží vždy dvě molekuly sacharidů. Oba pigmenty se vyskytují například u světlice barvířské, jedné z nejvýznamnějších rostlin používaných k barvení textilií (VELÍŠEK 2002).

Isoflavony

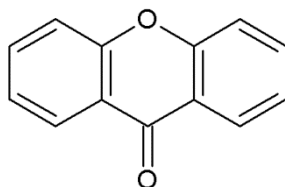
Isoflavony jsou barviva žluté barvy vyskytující se nejvíce u rostlin bobovitých, především v sóje (HARMATHA 2002; VELÍŠEK 2002).

Neoflavony, aurony, dihydrochalkony

Neoflavony, aurony a dihydrochalkony označují další skupiny spadající pod flavonoidy. Všechny tyto skupiny mají žlutavou barvu, nejsou však příliš významné pro využití v průmyslových odvětvích (VELÍŠEK 2002).

Xanthony

Základní strukturu xanthonů představuje sloučenina xanthon (obrázek 21), která je složena ze tří cyklů, z nichž prostřední obsahuje heteroatom kyslíku a navíc také oxo skupinu. Význačné jsou pro rod mangovníku nebo pro některé lišejníky, kde se vyskytují jako žluté pigmenty. Xanthony se v dnešní době využívají především v potravinářském průmyslu (VELÍŠEK 2002).

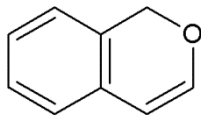


Obrázek 21: xanthon
Zdroj: autor, podle Veliška (2002)

Isochromeny

Isochromeny se řadí mezi žluté, oranžové až červené pigmenty. Jejich základem je 1H-isochromen (obrázek 22), který má na rozdíl od flavonoidů heteroatom kyslíku na pozici

číslo 2. Významné zástupce lze nalézt v říši hub nebo například v červené rýži. Isochromeny se často váží na skupinu aminů. Tyto pigmenty se hojně využívají v potravinářském průmyslu (VELÍŠEK 2002).



Obrázek 22: 1H-isochromen
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

4.3 Fenolová a chinonová barviva

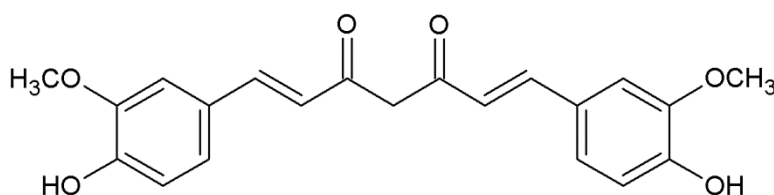
Fenolová a chinonová barviva obsahují zpravidla 1-3 benzenová jádra, na které se váží dvě oxo skupiny. Jak již z názvu vyplývá, odvozují se od sloučeniny fenolu a chinonu.

4.3.1 Stilbeny

Na stilbeny jsou často vázány sacharidy a považují se za přírodní antioxidanty. Mají biogenetickou vazbu na flavonoidy. Stilbeny se vyskytují převážně u vyšších rostlin, jejich četnost je však nízká (HARMATHA 2002; VELÍŠEK 2002).

4.3.2 Kurkuminoidy

Jak z názvu vyplývá, patří do této skupiny barviv žlutý pigment kurkumin (obrázek 23), který se hojně využívá v potravinářském průmyslu jako barvivo i jako koření zvané kurkuma. Získává se z rostlin rodu kurkumovníku, především z kurkumovníku dlouhého (ATTOKARAN 2017; KAKHIA 2015; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 23: kurkumin
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

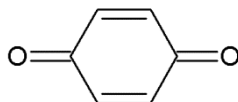
4.3.3 Chinony

Mezi chinony se řadí pigmenty žluté, červené až černohnědé barvy. Chinony jsou k nalezení jak u vyšších, tak u nižších rostlin, stejně tak i v říši živočišné. Využívají se především ve farmaceutických průmyslech, ale v potravinářském mají také své místo. Do skupiny chinonů patří podskupiny benzochinony, naftochinony a anthrachinony, které se

rozlišují podle počtu benzenových jader. Často se vyskytují ve vazbě na sacharid (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

Benzochinony

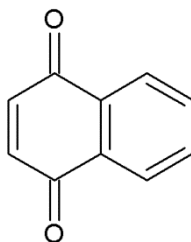
Benzochinony mají základ v 1,4-benzochinonu (obrázek 24), jiným názvem *p*-benzochinon, obsahující jedno aromatické jádro a dvě oxo skupiny v poloze 1,4. Benzochinony lze nalézt především u lišejníků a hub. Dále se vyskytují například ve formě arbutinu, který obsahuje navíc molekulu glukosy, v ovoci, obilninách nebo v brusnici brusince. Terfenylchinony jsou sloučeniny především hnědé a žluté barvy. Základ mají také v benzochinonu, ale navíc obsahují dvě skupiny fenylové a dvě hydroxylové. Běžně se vyskytují u hub, lišejníků a plísní (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 24: 1,4-benzochinon
Zdroj: autor, podle McMurryho (2007)

Naftochinony

Základní sloučenina naftochinonů obsahuje dva cykly a dvě oxo skupiny a nese stejný název nafto-1,4-chinon (obrázek 25). Naftochinony se často váží na sacharidy. Nejznámější pigment, který lze zařadit do skupiny naftochinonů, představuje henna z henovníku bílého. Henna obsahuje více naftochinonů, především nažloutlý lawson. Další známý naftochinon, nesoucí název juglon, obsahuje ořešák královský, který způsobuje hnědé zbarvení. Díky hnědé barvě se využívá jako přísada v samoopalovacích krémech. Mezi naftochinony též patří nahnědlý alkannin, který se vyskytuje u brutnákovitých rostlin.

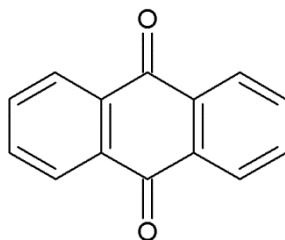


Obrázek 25: nafto-1,4-chinon
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

Odvozeným a strukturou méně podobným naftochinonům je pigment gossypol žluté barvy. Vyskytuje se v bavlníku a má toxické vlastnosti (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

Anthrachinony

Anthrachinon (obrázek 26), jenž tvoří základ těchto pigmentů, obsahuje tři cykly a dvě oxo skupiny. Mezi tyto pigmenty patří alizarin oranžovo-červené barvy nebo purpurin s barvou červenou. Vyskytují se v rostlině mořeně barvířské využívané v textilním průmyslu.



Obrázek 26: anthrachinon
Zdroj: autor, podle McMurryho (2007)

Emodiny představují skupinu odvozenou od anthrachinonů. Obsahují několik hydroxylových skupin. Vyskytují se hojně ve vyšších rostlinách, ale i u lišejníků nebo hub. Vyšší rostliny zastupuje například rod reveně, rod řešetláku nebo rod aloe. Velké množství emodinů se používá ve farmaceutickém průmyslu.

Ještě více odvozený pigment zastupuje fialový hypericin, který se vyskytuje například v květech třezalky tečkované.

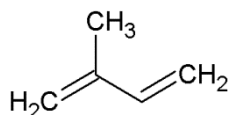
Do skupiny anthrachinonů patří také známý pigment košenila červené barvy a živočišného původu. Hojně se využívá v potravinářském průmyslu (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).

4.3.4 Tropony

Základní struktura troponů obsahuje cyklus se sedmi uhlíky, kde se střídají jednoduché a dvojné vazby, a jednu oxo skupinu (VELÍŠEK 2002).

4.4 Terpenoidy

Poslední skupinu rostlinných barviv zastupují terpenoidy, kam lze zařadit dvě podskupiny, karotenoidy a iridoidy. Obecně platí, že terpenoidy mají základ v uhlovodíku zvaném isopren (obrázek 27), popřípadě obsahují navíc jeden nebo více atomů kyslíku. Tyto jednotky se na sebe váží a vytváří tak poměrně dlouhé lineární řetězce, může však dojít i k cyklizaci (McMURRY 2007).



Obrázek 27: isopren
Zdroj: autor, podle McMurryho (2007)

4.4.1 Karotenoidy

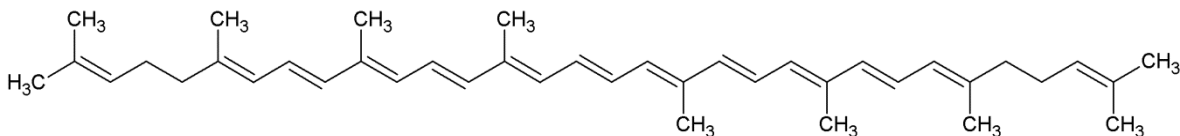
Karotenoidy lze zařadit mezi terpenoidní látky, tedy většinu z nich. Označují se někdy také jako polyenová barviva z důvodu obsahu několika isoprenových monomerů (obrázek 27), které obsahují střídavě jednoduché a dvojné vazby. Karotenoidy se skládají většinou z 8 těchto jednotek, řadí se pak mezi tetraterpeny. Tato skupina se dále rozděluje na dvě podskupiny: karoteny a xanthofyly. U karotenoidů převládá žlutá a oranžová barva, většina z nich má hydrofobní charakter. Existuje několik stovek těchto pigmentů, některé z nich se projevují jako provitamin A, pak se nazývají retinoidy. Na karotenoidy se často váží mastné kyseliny, sacharidy nebo bílkoviny.

Karotenoidy jsou k nalezení jak v říši živočišné, tak i rostlinné, jsou přítomny i u hub. U zelených rostlin se vyskytují společně s fotosyntetickými barvivy, chlorofyly. V jednotlivých buňkách mají své místo v plastidech. Karotenoidy jsou hojně obsaženy ve velkém množství ovoce i zeleniny.

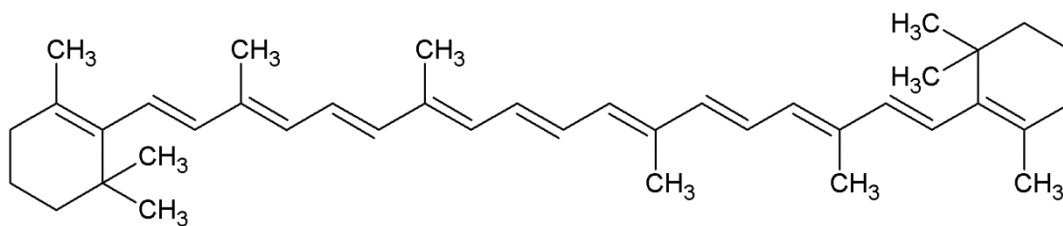
Značná část těchto pigmentů se využívá v potravinářském průmyslu k dobarvování například mléčných výrobků nebo nápojů.

Karoteny

Mezi nejznámější karoteny patří lykopen (obrázek 28) a β -karoten (obrázek 29), oba patří mezi retinoidy. Lykopen je čistě lineární sloučenina charakteristická červenou barvou, kterou lze nalézt například v rajčeti jedlém nebo v plodech růže šípkové. β -karoten obsahuje dva cykly a vyskytuje se například v mrkvi obecné nebo v palmovém oleji.



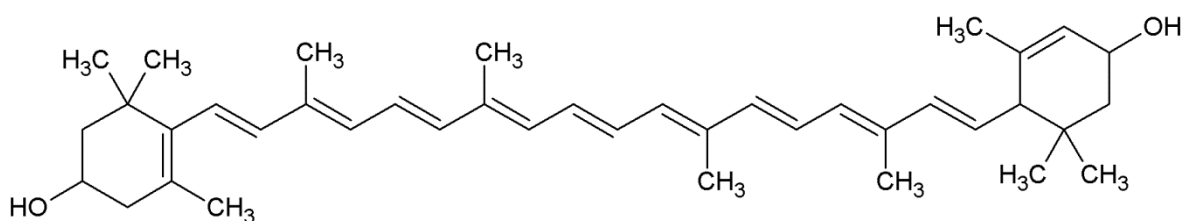
Obrázek 28: lykopen
Zdroj: autor, podle Veliška (2002)



Obrázek 29: β -karoten
Zdroj: autor, podle Moravcové (2006)

Xanthofyly

Xanthofyly se většinou tvoří z karotenů obsahujících cyklickou část, na kterou se naváže hydroxylová skupina. Příkladem může být α -kryptoxanthin nebo β -kryptoxanthin, který patří také do skupiny retinoidů, oba obsahují jednu hydroxylovou skupinu. Vyskytují se například v kukuřici seté nebo plodech jahodníku. Mezi barviva obsahující dvě hydroxylové skupiny se řadí například lutein (obrázek 30), který se vyskytuje například v pomerančích nebo zelených paprikách, nebo zeaxanthin obsažený v kukuřici seté nebo v rakytníku řešetlákovém. Další významné barvivo představuje krocetin charakteristický pro šafrán setý, konkrétně pro jeho blizny, které jsou význačné v potravinářském průmyslu jako koření.



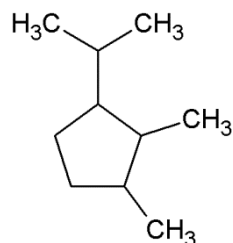
Obrázek 30: lutein
Zdroj: autor, podle Velíška (2002)

Dalšími chemickými reakcemi, mezi které patří především oxidace, vznikají další odvozené látky. Příkladem mohou být epoxidy nebo κ -karoteny, které nejsou příliš časté. κ -karoteny se vyskytují například u rodu paprika v jejich červených odrůdách a epoxidy v brokolici, listech špenátu nebo zelených paprikách.

Významné barvivo patřící také do skupiny karotenoidů zastupuje annatto, obsažené v oreláníku barvířském. Hlavní sloučeninou je v semenech se vyskytující oranžový až červený bixin v *cis*- i *trans*- konformaci (JAHODÁŘ 2012; McMURRY 2007; MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002; VODRÁŽKA 1998).

4.4.2 Iridoidy

Základ mají iridoidy ve sloučenině zvané iridan (obrázek 31). Velmi často se váží na sacharidy. V této formě se nalézají i v kozlíku lékařském nebo v rostlině gardénii jasmínovité, konkrétně v jejich plodech. Nejvýznamnější pigment představuje gadrenosid nebo geniposid (MORAVCOVÁ 2006; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 31: iridan
Zdroj: autor, podle Veliška (2002)

5 Izolace barviv a jejich použití

Barviva z rostlin se získávají a využívají již mnoho staletí. Postupem času, kdy se začala barviva vyrábět chemickými postupy a vznikat tak barviva syntetická, upouštělo se od využívání přírodních pigmentů. Poslední dobou se však k nim lidé opět navrací mimo jiné proto, že syntetická barviva vyvolávají poměrně často alergické reakce, které někdy mohou být i toxické.

Pro barvení textilií se nejčastěji rostliny s příslušným pigmentem převedly na malé částice, které se nechaly extrahovat převážně v horké až vařící vodě. Někdy se přidávalo mořidlo, které sloužilo k lepšímu přichycení a přilnutí barvy na textil. V takto připraveném výluhu již docházelo přímo k barvení. Tento postup se od dnešního příliš neliší.

Rostlinné pigmenty se pro průmyslové využití získávají prakticky ze všech částí rostliny – z kořenů, stonků (u stromů případně z kůry), listů, květů, plodů a semen. Na začátku dochází k rozmělnění částí rostlin na co nejmenší částice, aby se obsahové látky co nejlépe vyextrahovaly. Rostliny, nebo jejich části, se nejdříve namáčí. Čerstvé okolo dvou hodin, sušené poté až dvojnásobný čas. Následuje extrakce pigmentů většinou za přítomnosti destilované vody, někdy také v přítomnosti alkoholu. Takto připravený výluh pro textilní účely již lze použít jako barvicí lázeň. Pro získání pigmentu pro jiná odvětví postup pokračuje. Získaný surový extrakt se musí někdy i opakovaně v průběhu celé izolace zahustit na vodní lázni. Po těchto krocích lze již získat výsledné barvivo, některé pigmenty však podléhají dalším extrakcím například v organických látkách, kterými může být benzen, chloroform a další. Záleží na povaze látky. Výsledný získaný pigment může záviset i na podmínkách, ve kterých se rostlina nachází, proto nemusí být izolace téhož barviva vždy totožná. Získaný pigment se používá jako roztok o různé koncentraci nebo se suší k zisku práškového barviva.

I v dnešní době se využívají mořidla přidávaná k roztoku barviv, která slouží ke zvýraznění barvy nebo naopak utlumení, také k dosažení příslušného odstínu, někdy i k získání mírně odlišné barvy a k lepšímu ulpění pigmentu na materiálu díky vytvoření chemické vazby mezi pigmentem a mořidlem. Mořidlem mohou být například některé trísloviny nebo sloučeniny kovů, mezi které se řadí například chromitá sůl. Obarvený textilní materiál se ke konci barvení opere vodou a nechá se schnout.

V dnešní době se rostlinné pigmenty nejvíce používají v potravinářství. Svoje místo však mají také například v textilním průmyslu, v malířství nebo jako aditiva v kosmetice (BHUYAN a SAIKIA 2005; ČOPÍKOVÁ a kol. 2005; MOUDRÝ a KALINOVÁ 2004; TICHÝ a TICHÁ 1998; VANKAR 2000).

6 Vybraní zástupci rostlin

Tato kapitola se věnuje vybraným zástupcům rostlin, kteří se využívají právě pro svůj obsah barevných pigmentů v největší míře v potravinářském nebo textilním průmyslu, někteří z nich však najdou uplatnění například i v kosmetice nebo farmacii. U každého rostlinného zástupce je popsána jeho stručná charakteristika, zmíněna část rostliny, ze které se barviva získávají, společně s obsahovou složkou příslušné skupiny pigmentů dle chemické struktury, popřípadě konkrétní látka.

6.1 Světlice barvířská (*Carthamus tinctorius*)

Světlice barvířská (latinsky *Carthamus tinctorius*, obrázek 32) patří do čeledi hvězdnicovitých. Někdy se také nazývá nepravý šafrán. Je to jednoletá bylina dosahující maximální výšky 1 m. Kvete v období od června do září oranžovými květy. Pěstuje se pro svůj obsah červeného barviva karthaminu, který patří do skupiny flavonoidů, konkrétně chalkonů, a žlutého pigmentu saflorové žluté, oba se nalézají v květech (KUBÁT, HROUDA, CHRTEK, KAPLAN a KIRSCHNER 2002; MOUDRÝ a KALINOVÁ 2004; TICHÝ a TICHÁ 1998; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 32: světlice barvířská

Zdroj: Thomé (1885)

6.2 Mořena barvířská (*Rubia tinctorum*)

Bylina mořena barvířská (latinsky *Rubia tinctorum*, obrázek 33) je dvouděložná trvalka z čeledi mořenovitých, dorůstající výšky až 1 metr. Vykvétá v období od června až do srpna žlutozelenými květy. V dnešní době se vyskytuje především jako plevel. Pigment červené barvy se získává z kořene. Významná je díky obsahu dvou pigmentů, alizarinu a purpurinu, které se z chemického hlediska řadí k chinonům, konkrétně k anthrachinonům. Představuje jednu z nejvýznamnějších rostlin, které se dříve využívaly k barvení textilních látek hojněji než dnes. Asi před dvěma stoletími byla totiž z valné většiny nahrazena syntetickým barvivem alizarinem. Dříve se též využívala v malířství. Bez přidaného mořidla je však barvivo vysoce nestabilní (KAKHIA 2015; KUBÁT a kol. 2002; MOUDRÝ a KALINOVÁ 2004).



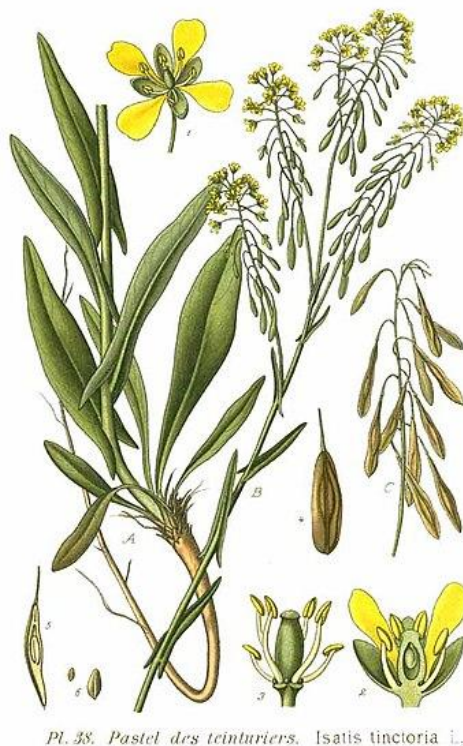
Obrázek 33: mořena barvířská

Zdroj: Thomé (1885)

6.3 Boryt barvířský (*Isatis tinctoria*)

Boryt barvířský (latinsky *Isatis tinctoria*, obrázek 34) je převážně dvouletá bylina patřící do čeledi brukvovitých a mezi dvouděložné rostliny. Dorůstá výšky až 1,4 m. Kvete v období května až července jasně žlutými květy květenstvím lata. Listy má celokrajné,

které se využívají pro získání modrého pigmentu stejně tak jako nat. Obsahuje stejné barvivo jako rod indigovníku, tedy indigo, které se řadí mezi indoly. Vyskytuje se především jako plevel například okolo cest. Ve středověku se boryt u nás velmi běžně používal i pěstoval pro získání přírodního modrého barviva, poté byl nahrazen indigem pro jeho vyšší výtěžnost (KAKHIA 2015; KUBÁT a kol. 2002; MOUDRÝ a KALINOVÁ 2004; TICHÝ a TICHÁ 1998).



Obrázek 34: boryt barvířský

Zdroj: Masclef (1891)

6.4 Indigovník barvířský (*Indigofera tinctoria*)

Indigovník barvířský (latinsky *Indigofera tinctoria*, obrázek 35) se také někdy nazývá modřil barvířský. Patří mezi dvouděložné rostliny a řadí se do čeledi bobovitých. Tento keř může dorůst výšky až 1,5 metru. Kvete růžovými až fialovorůžovými květy v období od července do srpna. Z indigovníku, tedy z jeho listů, se získává modré barvivo indican, který se oxidací přeměňuje na konečné indigo. Indigo získané z indigovníku se označuje často jako pravé indigo. Tento pigment patří do skupiny indolových barviv, konkrétně mezi indoly. Řadí se mezi jedno z nejstarších přírodních barviv (BECHTOLD a MUSSAK 2009; MISSOURI BOTANICAL GARDEN 2013-2018; KAKHIA 2015; PRANCE a NESBITT 2012).



Obrázek 35: indigovník barvířský
Zdroj: Hochenleitter (1778)

6.5 Kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*)

Kopřiva dvoudomá (latinsky *Urtica dioica*, obrázek 36) je dvouděložná vytrvalá bylina vyskytující se velmi často například podél cest a vodních toků. Patří do čeledi kopřivovitých. Dorůstá výšky až 1,5 metru a vykvétá v období od června do října. Pro získání zelených pigmentů se používá především její nať. Obsahovou složkou jsou chlorofyly patřící do skupiny tetrapyrrolů, konkrétně mezi porfyriny. Využívají se především v potravinářství (JAHODÁŘ 2012; TICHÝ a TICHÁ 1998).



Obrázek 36: kopřiva dvoudomá

Zdroj: Deyl a Hisek (1973)

6.6 Pivoňka lékařská (*Paeonia officinalis*)

Pivoňka lékařská (latinsky *Paeonia officinalis*, obrázek 37) je keř, který patří do čeledi pivoňkovitých. Řadí se mezi dvouděložné rostliny. Kvete v období od května do června bílými, tmavě růžovými až červenými květy poměrně velkých rozměrů a dorůstá výšky až 80 cm. Pro získání růžových pigmentů se využívá květ, konkrétně korunní lístky, které obsahují anthokyany (JAHODÁŘ 2012; KUBÁT a kol. 2002; TICHÝ a TICHÁ 1998).



Obrázek 37: pivoňka lékařská

Zdroj: Hooker (1832)

6.7 Bez černý (*Sambucus nigra*)

Bez černý (latinsky *Sambucus nigra*, obrázek 38) je keř z čeledi bezovitých, který dorůstá výšky až 7 metrů, a patří mezi rostliny dvouděložné. Kvete bílými květy chocholičnatého květenství v období června až července. Bez černý vytváří černé plody, které se používají jako barvivo. Díky nim se docílí světle růžových až světle modrých odstínů. Izolovanou látku představují flavonoidy, konkrétně anthokyaniny. K získání pigmentů se využívají i jeho listy, s těmi se dosahuje zelených odstínů (JAHODÁŘ 2012; KUBÁT a kol. 2002; TICHÝ a TICHÁ 1998).



Obrázek 38: bez černý

Zdroj: Thomé (1885)

6.8 Rezeda (rýt) barvířská (*Reseda luteola*)

Rýt barvířský (latinsky *Reseda luteola*, obrázek 39), někdy nazývaný také rezeda barvířská, je jednoletá bylina, která se řadí do čeledi rýtovitých a mezi dvouděložné rostliny. Může dorůst až 1,5 metru. Kvete v období od května do července žlutavými květy. Rezeda se pěstovala hojně mimo jiné pro získání žlutého pigmentu luteolinu, který se využíval pro barvení textilií. Toto barvivo lze dle chemické struktury zařadit mezi flavonoidy, konkrétně mezi flavony (KAKHIA 2015; KUBÁT a kol. 2002; MOUDRÝ a KALINOVÁ 2004; TICHÝ a TICHÁ 1998).



Obrázek 39: rezeda barvířská

Zdroj: Ypey (1813)

6.9 Kurkumovník dlouhý (*Curcuma longa*)

Kurkumovník dlouhý (latinsky *Curcuma longa*, obrázek 40) je vytrvalá jednoděložná bylina z čeledi zázvorníkovitých, která dorůstá výšky až jednoho metru. Kvete žlutými květy. Z jeho stonků se získává tzv. kurkuma, která se využívá díky své sytě žluté barvě spíše jako pigment pro dobarvování potravin než pro textilie. V seznamu aditiv se označuje jako E 100. Velmi často se také využívá jako koření. Chemicky jej lze zařadit do skupiny kurkuminoidů (ATTOKARAN 2017; JAHODÁŘ 2012; KAKHIA 2015; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 40: kurkumovník dlouhý

Zdroj: Köhler (1897)

6.10 Aksamitník vzpřímený (*Tagetes erecta*)

Aksamitník vzpřímený (latinsky *Tagetes erecta*, obrázek 41), známý také jako afrikán, je jednoletá poměrně odolná bylina často pěstovaná na zahradách, která patří do čeledi hvězdnicovitých. Řadí se mezi dvouděložné rostliny. Dorůstá do výšky až 90 cm. Jako barvivo se používají jeho květy, které nabývají žlutých, oranžových, někdy až červených odstínů. Vykvétá v období mezi červencem až říjnem. Podle struktury patří tento pigment do skupiny karotenoidů (ATTOKARAN 2017; KUBÁT a kol. 2002).



Obrázek 41: aksamitník vzpřímený

Zdroj: Blanco (1880-1883b)

6.11 Třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*)

Třezalka tečkovaná (latinsky *Hypericum perforatum*, obrázek 42) je vytrvalá dvouděložná bylina, která patří do čeledi třezalkovitých. Dorůstá výšky až jeden metr. Kvete žlutými květy v období od května až do září. K barvení se využívá především její nať s květy nebo poupaty pro získání červeného pigmentu. Zbarvení způsobuje především látka hypericin, který se řadí mezi chinony, konkrétně do skupiny anthrachinonů (JAHODÁŘ 2012; KUBÁT a kol. 2002; TICHÝ a TICHÁ 1998).



Obrázek 42: třezalka tečkovaná

Zdroj: Deyl a Hisek (1973)

6.12 Ořešák královský (*Juglans regia*)

Ořešák královský (latinsky *Juglans regia*, obrázek 43) je strom z čeledi ořešákovitých patřící mezi rostliny dvouděložné. Může dorůstat výšky až 25 metrů. Kvete na jaře v období mezi dubnem a květnem. Z ořešáku královského se získává pigment juglon, který se vyskytuje v listech a plodech, které ještě nejsou zralé. Tento pigment se dle struktury řadí mezi chinony, konkrétně do skupiny naftochinonů. Barví typicky červenohnědě, využíval se k barvení textilií, avšak ne příliš často (KUBÁT a kol. 2002; TICHÝ a TICHÁ 1998; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 43: ořešák královský

Zdroj: Thomé (1885)

6.13 Šafrán setý (*Crocus sativus*)

Šafrán setý (latinsky *Crocus sativus*, obrázek 44) je vytrvalá jednoděložná bylina na podzim kvetoucí fialovými květy a schopná přežít i slabší mrazy do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Řadí se do čeledi kosatcovitých. Kvete pouze krátce v období od září do října. Dorůstá do výšky 15 cm. Jako barvivo a současně i koření se využívají jeho pestíky, které obsahují oranžové barvivo krocín řadící se mezi karotenoidy. Tento pigment se používá již přes 3000 let, je však poměrně nestabilní. Z důvodu vysoké ceny se šafrán často nahrazuje například kurkumou nebo světlicí (JAHODÁŘ 2012; KAKHIA 2015; KUBÁT a kol. 2002; VELÍŠEK 2002).



Obrázek 44: šafrán setý

Zdroj: Thomé (1885)

6.14 Oreláník barvířský (*Bixa orellana*)

Oreláník barvířský (latinsky *Bixa orellana*, obrázek 45) je tropický keř patřící mezi rostliny dvouděložné. Radí se do čeledi oreláníkovitých jako jediný rod. Kvete růžovými květy. Pěstuje se pro oranžovo-červené barvivo zvané annatto. Tento pigment se získává ze semen oreláníku s obsahem bixinu, který se dle struktury řadí mezi karotenoidy. Barvivo se používá hlavně v potravinářském průmyslu a označuje se kódem E 160b (JAHODÁŘ 2012).



Obrázek 45: oreláník barvířský

Zdroj: Blanco (1880-1883a)

6.15 Řepa obecná (*Beta vulgaris*)

Řepa obecná (latinsky *Beta vulgaris*, obrázek 46), konkrétně její kultivar červená řepa (*var. rubra*), je dvouletá bylina z čeledi merlíkovitých řadící se mezi dvouděložné rostliny. Kvete zelenými květy v období od června až do srpna. Ztlustlý kořen tvoří bulvu. Řepa se využívá především jako zemědělská plodina, významná je však i jako aditivní barvivo v potravinářském průmyslu. V bulvě se vyskytují především pigmenty betakyaniny a betanin, který se také označuje jako E 162. Patří do skupiny indolových barviv, konkrétně mezi betalainy (JAHODÁŘ 2012; KAKHIA 2015; KUBÁT a kol. 2002).



Obrázek 46: řepa obecná (červená řepa)

Zdroj: Evan-Amos (2011)

7 Rostlinná barviva v seznamu „éček“

Rostlinná barviva se hojně využívají v potravinářském průmyslu jako aditiva potravin. Jejich používání však nikdy nebylo v takové míře, jako je tomu dnes. Poptávka po aditivech vzrostla po roce 1989. Přidávají se do potravin a nápojů ve formě prášku nebo roztoků. Tyto pigmenty slouží někdy ke zkvalitnění potraviny nebo ke zvýšení atraktivity u zákazníka. Pro označení jejich obsahu v potravinách nebo nápojích se používají přímo jejich názvy nebo pro zjednodušení pak evidenční kódy, někdy nazývané jako „éčka“. V následující tabulce (tabulka 1) je představen seznam, který znázorňuje číselné kódy, kterými se označují jednotlivá v České republice zákonem povolená barviva. Seznam obsahuje pouze pigmenty, které lze alespoň v minimálním množství nalézt v rostlinných materiálech. Dle zákona je určeno i množství barviv a typ potravin, které se mohou příslušnými aditivy přibarvovat. Dále stanovuje potraviny, které se nesmí dobarvovat vůbec. V tabulce je také uveden příklad rostliny, její část, ve které lze obsahovou látku nalézt, a barva příslušného pigmentu (VELÍŠEK 2002; VRBOVÁ 2001, VYHLÁŠKA Č. 4/2008 Sb.).

Tabulka 1: seznam evidenčních kódů, podle: Curla (1965), Duckwortha (2013), Hsieha (2001), Orosy, Torrese, Fidalga a Abaldeho (2000), Veliška (2002), Vrbové (2001), vyhlášky č. 4/2008 Sb.

kód	název látky	příklad rostliny	část rostliny	barva pigmentu
E 100	kurkumin	rod kurkuma	oddenky	žlutá
E 101	riboflavin	chřest lékařský	výhonky	žlutá
E 140	chlorofyly a chlorofyliny			
	(i) chlorofyly	kopřiva dvoudomá	nať	zelená
	(ii) chlorofyliny	odvozený od chlorofylu		zelená
E 141	měďnaté komplexy chlorofylů a chlorofylinů			
	(i) chlorofyly	odvozené od chlorofylů		zelená
	(ii) chlorofyliny	odvozené od chlorofylinů		zelená
E 153	medicinální uhlí (z rostlinné suroviny)	odvozené		černá
E 160a	karoteny			
	(i) směs karotenů	meruňka obecná	plod	žlutooranžová
	(ii) beta-karoten	mrkev obecná	kořen	žlutooranžová
E 160b	annato, bixin, norbixin	oreláník barvířský	semeno	oranžová
E 160c	paprikový extrakt, kapsanthin, kapsorubin	paprika setá (červená)	plod	červená
E 160d	lykopen	rajče jedlé	plod	červená
E 160e	beta-apo-8'-karotenal	mandarinka obecná	plod	oranžová
E 160f	ethylester kyseliny beta-apo-8'-karotenové	odvozené od beta-apo-8'-karotenal		oranžová
E 161b	lutein	paprika setá (zelená)	plod	žlutá
E 161g	kanthaxanthin	zelené řasy	celá	oranžová
E 162	betalainová červeň, betanin	červená řepa	bulva	červená
E 163	anthokyany	hlávkové zelí	hlíza	červená, modrá

8 Náměty pro práci s rostlinnými barvivy ve výuce

V této kapitole jsou předloženy náměty a návrhy využitelné ve výuce botaniky, popřípadě i v hodinách chemie. Za každou praktickou úlohou lze nalézt listy pro laboratorní práce nebo doplňující úlohy k procvičení. Jejich řešení je obsaženo v příloze.

8.1 Změna květu rostliny působením SO_2

Při tomto pokusu lze laboratorním způsobem demonstrovat působení kyselých dešťů na rostliny, což je v dnešní době poměrně běžný jev. Kyselé deště způsobuje mimo jiné bezbarvý plyn oxid siřičitý, který se snadno rozpouští ve vodě. Při kontaktu s pigmenty, konkrétně anthokyaniny, dochází k chemické reakci s oxidem siřičitým za vzniku bezbarvého produktu, který vykazuje vysokou stabilitu. Za běžných (laboratorních) podmínek tedy nedochází ke zpětnému zabarvení a pro pozorovatele se jeví květina bíle. Jako demonstrační rostlina byl vybrán hvozdík zahradní neboli karafiát červené barvy.

Pomůcky a chemikálie: Prášková síra, kahan, spalovací lžička, 2 odměrné válce, Petriho miska, 2 červené karafiáty, sirky.

Postup: Nejdříve je potřeba si připravit oxid siřičitý. Na spalovací lžičce zahříváme v připraveném kahanu práškovou síru do úplného roztavení a následného spálení. V momentu, kdy začnou ze lžičky unikat páry, vložíme spalovací lžičku do odměrného válce k jednomu z připravených karafiátů a přiklopíme Petriho miskou. Druhý válec s hvozdíkem slouží k porovnání před a po působení. Po nachytání par do válce lžičku vyjmeme a válec znovu přikryjeme Petriho miskou. Necháme působit.

Pozorování: Po nějakém čase působení oxidu siřičitého došlo ke změně červených pigmentů na bílou barvu (obrázek 47). Na pokusu lze tedy demonstrovat negativní vliv na barviva působením oxidu siřičitého, který je nejvíce produkován lidskou činností.



Obrázek 47: odbarvený karafiát (vlevo), původní červený karafiát (vpravo)

Zdroj: autor

8.1.1 Doplnující úlohy: Změna květu rostliny působením SO_2

Shrnující a doplňující úkoly k pokusu:

1. Nehodící pojem škrtni a doplň chybějící text:

Změnu barviv hvozdíku zahradního způsobil *oxid siřičitý/oxid sírový*. Po rozpuštění ve vodě se chová jako *kyselý/zásaditý* roztok. Tento plyn je jedním z činitelů, kteří způsobují tzv.

2. Zapiš chemickou rovnici, jak byl připraven oxid působící na rostlinu:

.....

3. Zařaď hvozdík zahradní do řádu a čeledi a vyhledej, jakou hlavní skupinu pigmentů obsahují jeho květy:

.....

4. Popiš změny, které proběhly na hvozdíku zahradním:

.....

5. Vyhledej v učebnici nebo na internetu, jaké další látky způsobují kyselý dešť:

.....

8.2 Změna roztoku obsahující anthokyany působením SO₂

Tento praktický úkol může být považován za obdobu předchozího. Změnu barviv lze totiž dokázat i ve výluhu z určitých částí rostlin. I v tomto případě jde o působení uvolňovaného oxidu siřičitého na změnu barviv, avšak již se složitější laboratorní aparaturou a složitějšími chemickými sloučeninami. K demonstraci tohoto pokusu byly vybrány plody brusnice borůvky a listy červeného zelí. Obsahovou složkou jsou tedy, stejně jako v předchozí úloze, anthokyaniny.

Pomůcky a chemikálie: Prášková síra, thiosíran sodný, kyselina chlorovodíková (20%), plody brusnice borůvky, listy červeného zelí, spalovací lžička, kahan, dělicí nálevka, Erlenmayerova baňka, pipeta, gumová zátka, skleněná trubička, třecí miska s tloučkem, nálevka, filtrační papír, kádinky, zkumavky, stojan, křížové svorky, držáky, varná konvice.

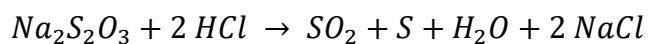
Postup: Jako první byla sestavena aparatura jako na obrázku 48. V třecí misce co nejlépe rozmělníme plody brusnice borůvky a vložíme do kádinky. Plody zalijeme vařící vodou a necháme chvíli louhovat. Takto připravené výluhy přefiltrujeme do čisté kádinky přes nálevku s filtračním papírem. Do dělicí nálevky (lze použít i byretu) předložíme roztok kyseliny chlorovodíkové, do Erlenmayerovy baňky thiosíran sodný. Do zkumavky připravíme pomocí pipety výluh tak, aby skleněná trubička byla alespoň zčásti ponořená v roztoku barviv. Dělicí nálevkou postupně přidáváme roztok kyseliny chlorovodíkové k thiosíranu sodnému do té doby, než dojde k odbarvení roztoku ve zkumavce.



Obrázek 48: vyvíjecí aparatura

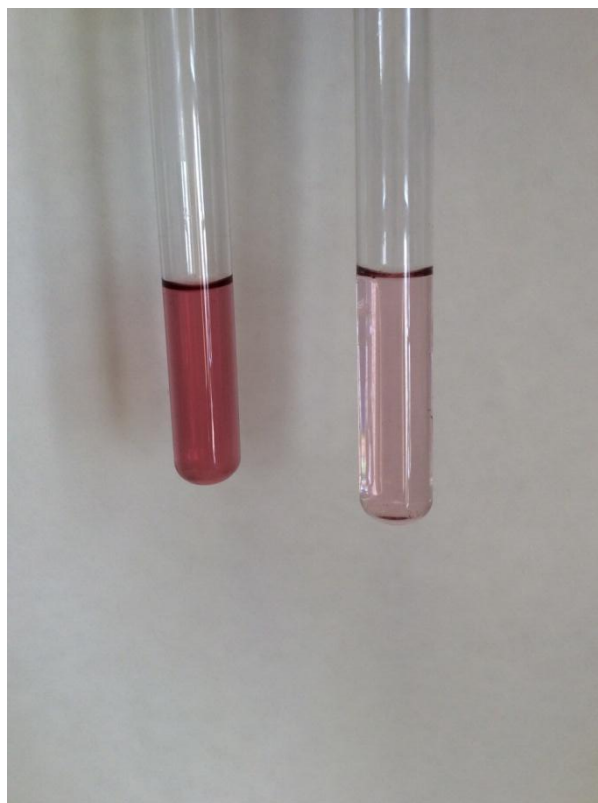
Zdroj: autor

Pozorování: V připravené aparatuře probíhá následující reakce:



Přikapáváním kyseliny chlorovodíkové na thiosíran sodný se uvolňuje požadovaný oxid siřičitý, který putuje skleněnou trubičkou přímo do připraveného výluhu ve zkumavce a probublává jím. V Erlemayerově baňce mimo jiné vzniká elementární síra, která mění obsah baňky na žluté zabarvení.

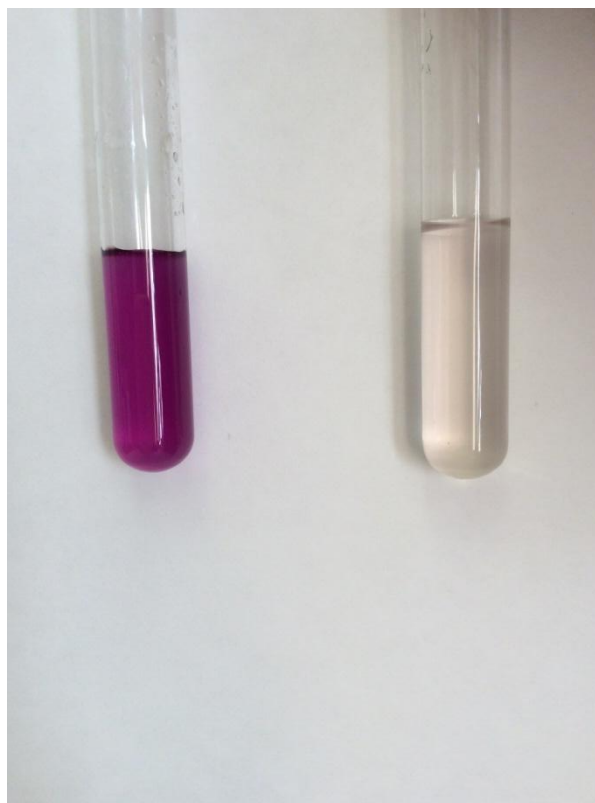
V prvním případě zkumavka obsahovala výluh z plodu brusnice borůvky (obrázek 49). Po nějaké době, kdy jím probublával oxid siřičitý, došlo k již zmiňovanému odbarvení z původního tmavě růžového roztoku. Opět reagoval oxid siřičitý s anthokyany za vzniku bezbarvé sloučeniny.



Obrázek 49: výluh z plodů brusnice borůvky, vlevo původní výluh, vpravo po odbarvení oxidem siřičitým

Zdroj: autor

Následně byl pokus proveden i s výluhem z listů z červeného zelí (obrázek 50). Opět působením oxidu siřičitého došlo k odbarvení původního roztoku zabarveného fialově. Znovu tedy vznikla bezbarvá sloučenina.



Obrázek 50: výluh z listů červeného zelí, vlevo původní výluh, vpravo po odbarvení oxidem siřičitým

Zdroj: autor

Poznámka: Při sestavování aparatury je nutné ověřit, zdali celá aparatura těsní, aby vznikající oxid siřičitý byl plně využit na odbarvení roztoku a tedy neunikal do okolí. K provedení pokusu je vhodné využít čerstvě připravené roztoky. Odbarvení výluhu lze také uskutečnit například s výluhem z květů hvozdíku zahradního nebo jiných částí rostlin, které obsahují anthokyaniny.

8.2.1 Doplnující úlohy: Změna roztoku obsahující anthokyany působením SO_2

Shrnující a doplňující úkoly k pokusu:

1. Zařaď brusnici borůvku do řádu a čeledi a doplň typ plodu, který vytváří.

.....

2. Jakou hlavní skupinu pigmentů obsahují plody brusnice borůvky a listy červeného zelí?

.....

3. Pokus se vysvětlit, proč dochází v Erlenmayerově baňce ke vzniku žlutého zabarvení.

.....

8.3 Změna barvy pigmentů v závislosti na pH

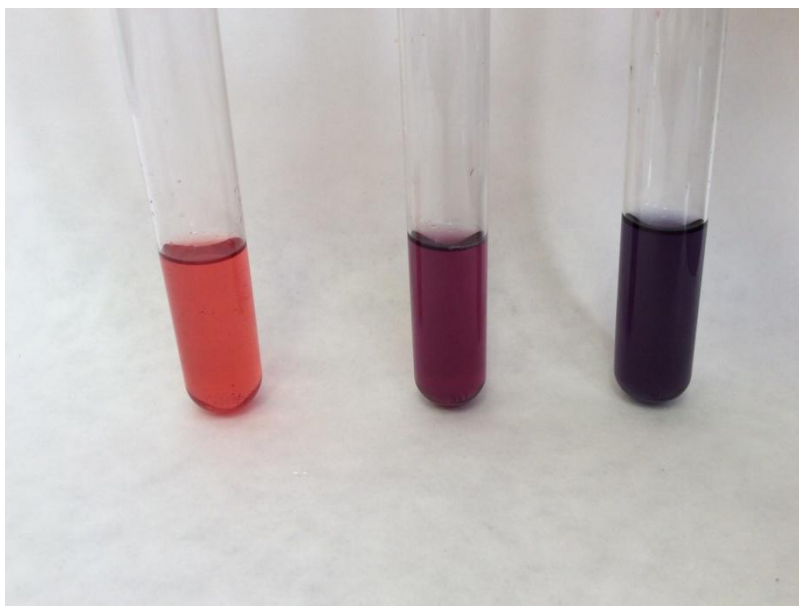
(podle Kubienové a Vintera (2013))

Brusnice borůvka, červené zelí a mnohé další rostliny obsahují pigmenty zvané anthokyaniny. Tyto látky obsahující části rostlin jsou běžně dostupné a mohou sloužit jako indikátory kyselého a zásaditého prostředí. V kyselém prostředí mají anthokyaniny většinou jasně červenou barvu a v zásaditém prostředí poté dosahují modrých, zelených až fialových odstínů.

Pomůcky a chemikálie: Brusnice borůvka – plod, listy červeného zelí, ostružiník maliník – plod, hvozdík zahradní – květ, roztok jedlé sody, ocet, kádinky, třecí miska s tloučkem, zkumavky, stojan na zkumavky, křemenný písek, ethanol, nálevka, nůž, filtrační papír, pipety.

Postup: Nejdříve je potřeba připravit si výluhy, které budou sloužit jako samotný indikátor. Plody borůvky, plody maliníku a listy červeného zelí rozkrájíme na menší kousky a vložíme jednotlivě do kádinek. Borůvky, maliny i červené zelí zalijeme vařící vodou a necháme vylouhovat. Následně přefiltrujeme přes filtrační papír do kádinek. Okvětní lístky hvozdíku roztlučeme v třecí misce společně s trochou písku a ethanolu. Přefiltrujeme přes filtrační papír do kádinky. Každý jednotlivý výluh přeneseme vždy pipetou do tří zkumavek (asi 2-3 cm³). Do jedné ze tří zkumavek vždy pipetou přidáme pár kapek připraveného roztoku jedlé sody (jedlá soda rozpuštěná ve vodě), do druhé pár kapek octa, třetí necháme na porovnání v původním stavu.

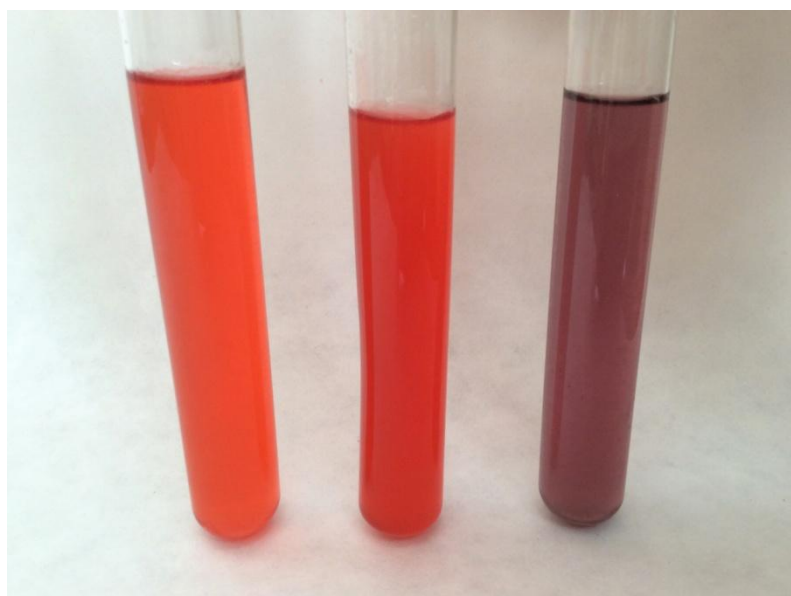
Pozorování: Pigmenty plodů brusnice borůvky (obrázek 51) mají v neutrálním prostředí fialovočervenou barvu, v kyselém prostředí se zbarvují jasně červeně a v zásaditém až do tmavě modré barvy.



Obrázek 51: výluh z plodů brusnice borůvky, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí

Zdroj: autor

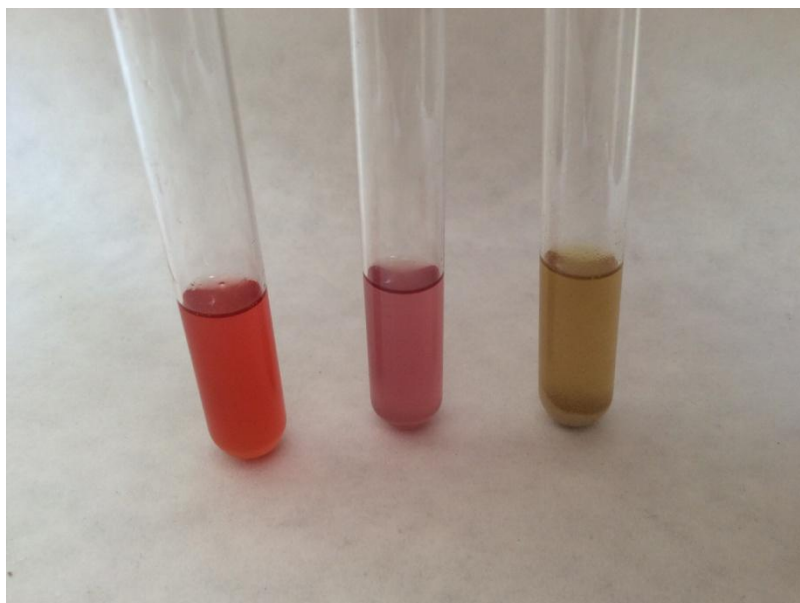
Plody maliníku nemění barvu tak výrazně jako ostatní připravené výluhy z rostlin. V původním roztoku (obrázek 52) mají červenou barvu, v kyselém prostředí se barví až do oranžovočervené barvy a v zásaditém prostředí pak dosahují fialového zabarvení.



Obrázek 52: výluh z plodů ostružiníku maliníku, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí

Zdroj: autor

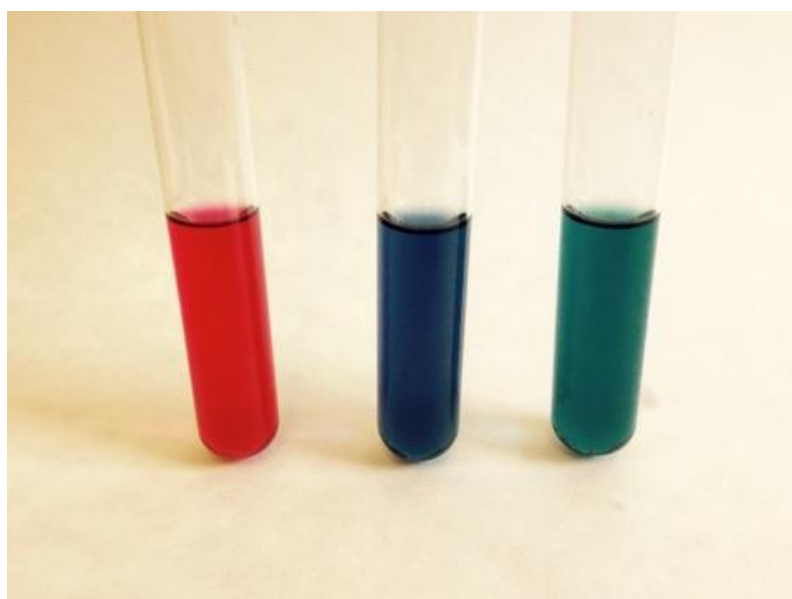
Okvětní lístky karafiátu, respektive výluh z nich (obrázek 53), měly v neutrálním prostředí růžovofialovou barvu, v kyselém prostředí dosahovaly jasně červených odstínů a v zásaditém prostředí se barvily do zelena.



Obrázek 53: výluh z okvětních lístků hvozdku zahradního, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí

Zdroj: autor

Původní výluh z červeného hlávkového zelí (obrázek 54) nabýval modré barvy, v kyselém prostředí se zbarvil do jasně červených odstínů, v zásaditém prostředí pak do odstínů zelené.



Obrázek 54: výluh z červeného zelí, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí

Zdroj: autor

Poznámka: Indikace pH rostlinnými barvivy byla vyzkoušena i na červené řepě. Zde však nedocházelo k velkým rozdílům barev v zásaditém, ani v kyselém prostředí. Pro provedení tohoto pokusu lze využít dále velké množství dalších rostlin nebo jejich částí, které obsahují anthokyaniny. Jako látky upravující pH prostředí lze využít také například šťávu

z citronu nebo běžně dostupnou krystalickou kyselinu citronovou pro dosažení kyselého prostředí.

8.3.1 Pracovní list: Změna barvy pigmentů v závislosti na pH

Anthokyaniny jsou rostlinné pigmenty, které reagují změnou barvy na pH okolního prostředí. Proto je lze použít jako přírodní indikátory.

Úkol: Pozoruj změny barev vybraných rostlinných materiálů v závislosti na pH prostředí.

Pomůcky a chemikálie: Výluh z plodů brusnice borůvky, výluh z plodů ostružiníku maliníku, výluh z okvětních lístků hvozdíku zahradního, výluh z listů červeného zelí, ocet, roztok jedlé sody, pipeta, zkumavky.

Postup:

- Každý výluh předložíme do tří zkumavek (asi 3 cm³).
- Do jedné ze tří zkumavek vždy přikápneme pipetou pár kapek octa.
- Do druhé ze tří zkumavek přikápneme pipetou pár kapek roztoku jedlé sody.
- Pozorujeme barevné změny. Barvy příslušných roztoků zapíšeme do tabulky.

Pozorování:

Do tabulky doplň pozorované změny barev roztoků:

	kyselý roztok	neutrální roztok	zásaditý roztok
plod brusnice borůvky			
plod ostružiníku maliníku			
okvětní lístky hvozdíku zahradního			
listy červeného zelí			

Shrnutí:

Doplň chybějící pojmy:

Rostlinná barviva anthokyaniny jsou ve vodě Díky nim můžeme přírodní cestou určit, zda je daný roztok , tomu odpovídají hodnoty pH , nebo , tomu odpovídají hodnoty pH

Doplňující úkoly:

1. Vysvětli pojem pH:

.....

2. Vysvětli pojem indikátor:

.....

3. Jaké látky se využívají nejvíce v laboratořích jako indikátory? Jmenuj alespoň tři:

.....

4. Zařaď rostliny, které jsi v pokusu použil/a, do řádu a čeledi:

.....

5. Urči, jaké typy plodů vytváří dané rostliny:

	brusnice borůvka	ostružiník maliník
typ plodu		

8.4 Obsahuje červená paprika více než jedno barvivo?

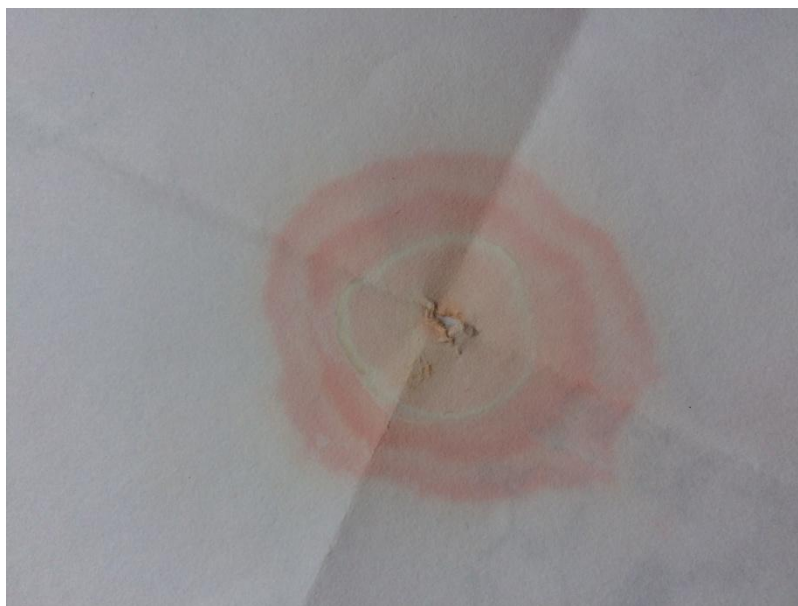
(podle Klečkové a Losa (2003))

Pigmenty červené papriky se řadí do skupiny karotenoidů, popřípadě jejich derivátů. Většina karotenů má hydrofobní charakter, proto pro jejich rozpuštění a tedy převedení do roztoku se musí použít nepolární rozpouštědlo. V této úloze bude použit aceton. Mezi pigmenty červené patří například kapsanthin, β -karoten a cyklopentylketony (VELÍŠEK 2002).

Pomůcky a chemikálie: Červená paprika (kapie), lékařský benzin, aceton, křemenný písek, pravítko, obyčejná tužka, filtrační papír, provázek, kádinka, třecí miska s tloučkem, Petriho miska, krystalizační miska, nůž, nůžky.

Postup: Nejdříve je potřeba si připravit filtrační papír, který bude použit k průběhu chromatografie. Z filtračního papíru vystříhneme kruh tak, aby mírně přesahoval průměrem krystalizační misku. Uprostřed uděláme díрку, kterou provlečeme provázek s uzlem na jednom z konců. Kousek červené papriky rozkrájíme na malé kousky a předložíme do třecí misky společně s trochou křemenného písku, přilijeme trochu acetonu. Tloučkem se snažíme směs co nejvíce rozmělnit. Z takto připravené směsi pipetou nabere roztok z misky a jednu až dvě kapky přikápneme na uzel provázku. Filtrační kruhový papír položíme na hrdlo krystalizační misky, kterou naplníme lékařským benzinem do čtvrtiny. Konec provázku musí být alespoň částečně ponořený. Provázkem volně vzlíná rozpouštědlo (lékařský benzin), poté i filtračním papírem, a tím dochází k oddělení barviv. Když se rozpouštědlo dostalo asi 2 cm od okraje, byla chromatografie ukončena. Po vyjmutí provázku se nechal filtrační papír volně uschnout.

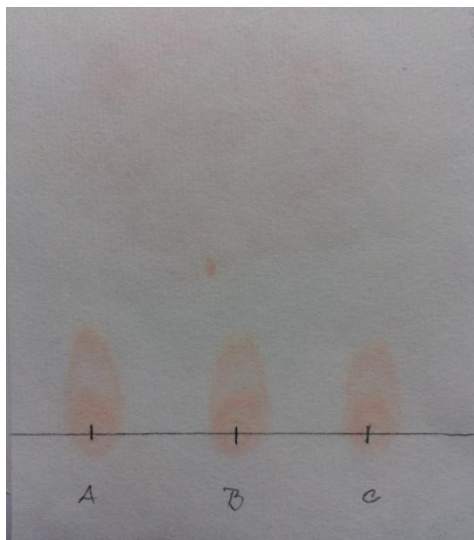
Pozorování: Z výsledku kruhové papírové chromatografie, respektive z chromatogramu (obrázek 55), lze odvodit, že červená paprika obsahuje více než jedno barvivo. Každý zřetelně oddělený kruh na chromatogramu zastupuje alespoň jeden pigment. Toto rozdělení barviv je způsobeno jevem, kdy po stacionární fázi (filtrační papír) jsou unášeny částice (jednotlivá barviva) rozdílnou rychlostí. Pomalejší zůstávají více ve středu, rychlejší pak migrují k okrajům.



Obrázek 55: chromatogram z kruhové chromatografie pigmentů červené papriky

Zdroj: autor

Poznámka: Rozdělení barviv bylo provedeno také na obdélníku filtračního papíru (tzv. vzestupná papírová chromatografie), kde na dolní části byl vyznačen „start“ asi 1 cm od okraje a „konec“ asi 2 cm od horního okraje. Na „startu“ byla vyznačena tři místa (A, B, C), kam byla pipetou přenesena vždy kapka roztoku z červené papriky. Vyvíjelo se v kádince přiklopené Petriho miskou a naplněné benzinem tak, aby při ponoření destičky hladina nedosahovala úrovně „start“. Konec vyvíjení nastal v okamžiku, kdy rozpouštědlo dosáhlo hranice „konec“. Výsledek na chromatogramu (obrázek 56) však nebyl tak dobře zřetelný jako u kruhové chromatografie prováděné na krystalizační misce. Dále byla chromatografie provedena i na křídě, výsledek však nebyl okem rozpoznatelný.



Obrázek 56: chromatografie barviv červené papriky (obdobníkový chromatogram z filtračního papíru)

Zdroj: autor

8.4.1 Pracovní list: Obsahuje červená paprika více než jedno barvivo?

Paprika setá patří do čeledi lilkovitých a vyznačuje se jako významná zemědělská plodina, která je sázena v teplejších oblastech. Pěstují se papriky různých barev a tvarů.

Úkol: Zjistí, zda červená paprika obsahuje více než jeden pigment.

Pomůcky a chemikálie: Paprika setá (kapie), lékařský benzin, aceton, křemenný písek, filtrační papír, provázek (asi 10 cm), třecí miska s tloučkem, pipeta, krystalizační miska, nůž, nůžky.

Postup:

- Z filtračního papíru vystříhneme kolečko o průměru větším (asi o 2 cm), než je krystalizační miska.
- Uprostřed filtračního papíru uděláme díрку, kterou provlečeme provázek. Na jednom konci uděláme uzel, který se přímo bude dotýkat filtračního papíru.
- Papriku rozkrájíme na malé kousky a ve třecí misce rozmělníme společně s trochou písku a acetonu.
- Pipetou odebereme roztok, který kápneme (1–2 kapky) na uzel vytvořený na provázku.
- Krystalizační misku naplníme do čtvrtiny benzinem.
- Filtrační papír s provázkem položíme na krystalizační misku.
- Pokus ukončíme, když kapalina dosahuje 2 cm od okraje filtračního papíru.

Pozorování:

Schematicky zakresli výsledek z chromatogramu.

Kolik barviv obsahovala červená paprika?

.....

Shrnutí:

Vysvětli pojem chromatografie:

.....

Na internetu vyhledej příklady barviv, které obsahuje červená paprika:

.....

Proč bylo nutné použít jako rozpouštědlo aceton? Mezi jaký typ rozpouštědel patří?

.....

8.5 Obsahují fialové listy chlorofyl?

(podle Kubienové a Vintera (2013))

Téměř každá rostlina je zbarvena alespoň zčásti zeleným barvivem zvaným chlorofyl. Chlorofyly představují důležité pigmenty, které slouží k průběhu fotosyntézy.

Pomůcky a chemikálie: listy podeňky *Tradescantia pallida*, ethanol, lékařský benzin, zkumavka, gumová zátka, třecí miska s tloučkem, stojan, filtrační kruh, nálevka, filtrační papír, nůž, kádinka, pipeta.

Postup: Listy podeňky (obrázek 57) rozkrájíme na malé kousky a umístíme do třecí misky, kam přidáme ethanol. Směs se pomocí tloučku snažíme rozmělnit, aby se do roztoku přeneslo co nejvíce barviv. Přefiltrujeme do kádinky přes filtrační nálevku. Vzniklý filtrát přeneseme pipetou do zkumavky (asi 3 cm³), přilijeme stejné množství lékařského benzínu a zkumavku zazátkujeme. Obsah zkumavky řádně protřepeme.



Obrázek 57: listy podeňky *Tradescantia pallida*, nahoře spodní strana listu, dole svrchní strana listu

Zdroj: autor

Pozorování: Třepáním se jednotlivé pigmenty rozmístily do vrstev (obrázek 58). Chlorofyly se vytřepaly do horní vrstvy, obsahující lékařský benzin. Poznáme to tak, že se benzin zabarvil do zelena. Zbytek barviv zůstal rozpuštěn ve spodní ethanolové vrstvě. Anthokyany ve spodní vrstvě mají hydrofilní charakter, chlorofyly charakter hydrofobní, proto se lépe rozpustily a vytřepaly do benzinové vrstvy.



Obrázek 58: rozvrstvení barviv (horní vrstva benzínu s chlorofyly)

Zdroj: autor

Poznámka: Protože v pokusu byl použit denaturovaný technický líh, došlo k chemické reakci, což vyvolalo přeměnu barviv ve spodní ethanolové vrstvě. Původní fialová vrstva se zbarvila dožluta. Tento pokus lze provést i s vodou (obrázek 59), kterou se nahradí ethanol. Pak zůstávají anthokyaniny ve spodní vodní vrstvě barevně nezměněny, zachovávají si původní fialovou barvu.



Obrázek 59: rozvrstvení barviv, vrstva benzínu s chlorofyly, spodní ethanolová vrstva s anthokyaniny

Zdroj: autor

Tento pokus byl v literatuře doporučován provést mimo jiné s listy červeného zelí. Při prvním ověřování byl použit list spíše ze středu hlávky, tudíž neobsahoval žádné chlorofyly. Při druhém pokusu byl extrakt připraven z listu nejvíce vnějšího, který však také neobsahoval žádné chlorofyly.

8.5.1 Pracovní list: Obsahují fialové listy chlorofyl?

Chlorofyly jsou známé pro své zelené zbarvení. Obsahují však takové listy podeňky také chlorofyly i přes to, že mají fialovou barvu?

Úkol: Zjisti, zda obsahují fialové listy podeňky chlorofyly.

Pomůcky a chemikálie: listy podeňky, ethanol, lékařský benzin, zkumavka, gumová zátka, třecí miska s tloučkem, stojan, filtrační kruh, nálevka, filtrační papír, nůžky, kádinka, pipeta.

Postup:

- Listy podeňky rozstříháme na malé kousky a předložíme do třecí misky.
- Přidáme ethanol, a tloučkem co nejlépe rozmělníme.
- Přefiltrujeme do kádinky.

- Filtrát přeneseme pipetou do zkumavky (asi 3 cm³) a přidáme stejné množství lékařského benzinu.
- Zkumavku zazátkujeme a řádně protřepeme.

Pozorování:

Popiš, k čemu došlo ve zkumavce, schematicky nakresli a popiš:

.....

Shrnutí:

V následujícím odstavci škrtni nehodící se pojem:

Rostlinné chlorofyly a živočišné barvivo hemoglobin *patří/nepatří* do stejné skupiny pigmentů. Mimo jejich výskyt se také liší v obsahu kovu. Chlorofyly váží ve svých molekulách atom *hořčíku/železa*, naopak hemoglobin obsahuje atom *hořčíku/železa*. Chlorofyly mají *hydrofilní/hydrofobní* charakter. Pro rostliny jsou velmi důležité. Zajišťují totiž v rostlině správný průběh *dýchání/fotosyntézy*.

9 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala rostlinnými barvivy a jejich využitím ve výuce. V teoretické části byly charakterizovány rostlinné pigmenty jako takové, tedy jejich vznik, vlastnosti, výskyt a funkce v rostlinném organismu. Následovala kapitola týkající se rozčlenění barviv do skupin podle jejich chemického složení a struktury a jejich charakteristika. Práce se mírně dotýká i tématu izolace pigmentů z rostlinných materiálů a jejich využití v jednotlivých odvětvích. Popsáni jsou také vybraní zástupci, ze kterých se získávají barevné substance, zahrnuta je i obsahová složka s částí rostliny, ve které se pigmenty objevují. Příkladem vybraných zástupců může být mořena barvířská nebo i bez černý.

V práci se také objevují náměty, které byly prakticky ověřeny a vyzkoušeny. Ke každému pokusu byla pořízena fotografická dokumentace a připraveny pracovní listy, laboratorní protokoly nebo jen doplňující úkoly k dané problematice. Předložené experimenty mohou být zařazeny jak do výuky botaniky, tak i do hodin chemie. Příkladem může být pokus, který se zabýval barevnými změnami rostlinného materiálu vzhledem ke změně pH okolního prostředí. Výhodou u tohoto experimentu shledávám fakt, že se pracuje pouze s materiály běžně dostupnými. Doporučila bych však pracovat výhradně s čerstvě připravenými výluhy. Mezi tyto úlohy byl zařazen i pokus, kdy oxid siřičitý působí negativně na rostlinná barviva, dochází k degradaci barviv. Lze jej zařadit mimo jiné mezi témata ekologie, protože již zmiňovaný oxid je jedním z činitelů kyselých dešťů.

10 Zdroje

10.1 Seznam použité literatury

1. ATTOKARAN, Mathew. *Natural food flavors and colorants*. John Wiley & Sons, 2017. ISBN: 1119114764.
2. BECHTOLD, Thomas a Rita MUSSAK. *Handbook of natural colorants*. John Wiley & Sons, 2009.
3. BHUYAN, Ranjana a C. N. SAIKIA. Isolation of colour components from native dye-bearing plants in northeastern India. *Bioresource technology*, 2005, roč. 96, č. 3, s. 363-372.
4. BIDLOVÁ, Věra. *Barvení pomocí rostlin*. Praha: GRADA Publishing, 2005. ISBN: 80-247-1022-6.
5. BLANCO, Francisco Manuel. *Flora de Filipinas Gran edición, Atlas I*. 1880-1883a.
6. BLANCO, Francisco Manuel. *Flora de Filipinas Gran edición, Atlas II*. 1880-1883b.
7. CURL, A. Laurence. The Occurrence of beta-Citraurin and of beta-Apo-8'-Carotenal in the Peels of California Tangerines and Oranges. *Journal of Food Science*, 1965, roč. 30, č. 1, s. 13-18.
8. ČOPÍKOVÁ, Jana, Michal UHER, Oldřich LAPČÍK, Jitka MORAVCOVÁ a kol. Přírodní barevné látky. *Chemické Listy*, 2005, č. 99, s. 802-816.
9. DOLEŽAL, Marek. *Sloučeniny ovlivňující barvu potravin*. 2016.
10. DUCKWORTH, Ronald Barrett. *Fruit and vegetables*. Elsevier, 2013. ISBN: 1483140423.
11. HARMATHA, Juraj. *Chemie a biochemie přírodních látek*. Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, 2002. ISBN: 8086241173.
12. HOCHENLEITTER, Lukas a kol. *Plantarum indigenarum et exoticarum icones ad vivum coloratae, oder, Sammlung nach der Natur gemalter Abbildungen inn- und ausländischer Pflanzen, für Liebhaber und Beflissene der Botanik*. 1778.
13. HOOKER, William Jackson. *Curtis's Botanical Magazine*. 1832, č. 59.
14. HSIEH, Chang-Yao. *Phase I, Clinical trial of curcumin, a chemopreventive agent, in patients with high-risk or pre-malignant lesions*. *Anticancer research*, 2001, č. 21, s. 2895-2900.

15. JAHODÁŘ, Luděk. *Farmakobotanika - semenné rostliny*. Praha: Karolinum, 2012, s. 280. ISBN: 9788024620152.
16. KAKHIA, Tarek Ismail. *Dyes, Colors & Pigments*. 2015.
17. KLEČKOVÁ, Marta a Petr LOS. *Seminář a praktikum z chemie pro 2. stupeň základní školy*. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, akciová společnost, 2003. ISBN: 80-7235-160-5.
18. KÖHLER, Franz Eugen. *Köhler's Medizinal-Pflanzen*. 1897.
19. KUBÁT, Karel, Lubomír HROUDA, Jindřich jun. CHRTEK, Zdeněk KAPLAN a kol. *Klíč ke květeně České Republiky*. Praha: Academia, 2002.
20. KUBIENOVÁ, Lucie a Vladimír VINTER. *Experimenty pro přírodovědné kroužky na téma: Rostliny, léčivé látky, drogy*. Olomouc, 2013. ISBN: 978-80-244-3619-7.
21. MAJUMDAR, Krishna C a Shital K CHATTOPADHYAY. *Heterocycles in natural product synthesis*. John Wiley & Sons, 2011. ISBN: 3527634894.
22. MASCLEF, Amédée. *Atlas des plantes de France*. 1891.
23. MCMURRY, John. *Organická chemie*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2007, s. 1270.
24. MORAVCOVÁ, Jitka. *Biologicky aktivní přírodní látky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006.
25. OROSA, M., Enrique TORRES, P. FIDALGO a J. ABALDE. Production and analysis of secondary carotenoids in green algae. *Journal of Applied Phycology*, 2000, roč. 12, č. 3-5, s. 553-556.
26. PRANCE, Ghilleen a Mark NESBITT. *The cultural history of plants*. Routledge, 2012. ISBN: 1135958114.
27. ROKYTA, Richard a kol. *Fyziologie*. Praha: Galén, 2016. ISBN: 978-80-7492-238-1.
28. THOMÉ, Otto Wilhelm. *Flora von Deutschland Österreich und der Schweiz*. 1885.
29. TICHÝ, Lubomír a Ivona TICHÁ. *Barvy z rostlin*. Brno: Rezekvítek, 1998. 66 s.
30. VANKAR, Padma S. *Chemistry of natural dyes*. Resonance, 2000, roč. 5, č. 10, s. 73-80.
31. VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin* 3. 2. upr. vyd. Tábor: OSSIS, 2002. 331 s.
32. VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody*. Scientia, 1998. ISBN: 8071830836.
33. VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie*. Praha: ACADEMIA, 2002.

34. VOTRUBOVÁ, Olga. *Anatomie rostlin*. Charles University in Prague, Karolinum Press, 2017. ISBN: 8024618672.
35. VRBOVÁ, Tereza. *Víme, co jíme? aneb: Průvodce "Éčky" v potravinách*. EcoHouse, 2001. ISBN: 80-238-7504-3.
36. YPEY, Adolphus. *Vervolg op de Afbeeldingen der artseny-gewassen met derzelver Nederduitsche en Latynsche beschryvingen*. 1813.
37. Vyhláška č. 4/2008 Sb., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin.

10.2 Seznam internetových zdrojů

1. EVAN-AMOS. *Beets-Bundle.jpg* [online]. 2011, [citováno 2018-04-01]. Dostupné z: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beets-Bundle.jpg>>.
2. MISSOURI BOTANICAL GARDEN. *Missouribotanicalgarden Indigofera tinctoria* [online]. © 2013-2018, [citováno 2018-03-30]. Dostupné z: <<http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=280305>>.
3. MOUDRÝ, Jan a Jana KALINOVÁ. *Pěstování speciálních plodin. Multimediální texty* [online]. 2004, [citováno 2018-03-09]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/3/barvirske_rostliny.html>.
4. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Světlo jako elektromagnetické vlnění* [online]. 2007, [citováno 2018-02-10]. Dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/434-svetlo-jako-elektromagneticke-vlneni>>.
5. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Vymezení barvy* [online]. 2008, [citováno 2018-02-10]. Dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/543-vymezeni-barvy>>.
6. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Teorie trojbarevného vidění* [online]. 2011, [citováno 2018-02-10]. Dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/545-teorie-trojbarevneho-videni>>.

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: rozmezí vlnových délek viditelného záření, zobrazení citlivosti čípků na vlnové délky, zdroj: Reichl a Všetička (2011)	10
Obrázek 2: pyrrol, zdroj: autor, podle McMurryho (2007)	13
Obrázek 3: bilin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	14
Obrázek 4: základ porfyrinů, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	15
Obrázek 5: základ hemových barviv, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	15
Obrázek 6: chlorofyl <i>a</i> , zdroj: autor, podle Velíška (2002)	16
Obrázek 7: chlorofyl <i>b</i> , zdroj: autor, podle Velíška (2002)	16
Obrázek 8: betanin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	17
Obrázek 9: indigo, zdroj: autor, podle Moravcové (2006)	18
Obrázek 10: isochinolin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	18
Obrázek 11: berberin, zdroj: autor, podle Moravcové (2006)	19
Obrázek 12: purin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	19
Obrázek 13: pteridin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	18
Obrázek 14: pterin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	19
Obrázek 15: isoalloxazin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	20
Obrázek 16: 2H-pyran, zdroj: autor, podle Moravcové (2006)	20
Obrázek 17: 4H-pyran, zdroj: autor, podle Moravcové (2006)	21
Obrázek 18: 2H-chromen, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	20
Obrázek 19: flavan, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	21
Obrázek 20: anthokyanidin, zdroj: Velíšek (2002)	22
Obrázek 21: xanthon, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	23
Obrázek 22: 1H-isochromen, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	24
Obrázek 23: kurkumin, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	24
Obrázek 24: 1,4-benzochinon, zdroj: autor, podle McMurryho (2007)	25
Obrázek 25: nafto-1,4-chinon, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	25
Obrázek 26: anthrachinon, zdroj: autor, podle McMurryho (2007)	26
Obrázek 27: isopren, zdroj: autor, podle McMurryho (2007)	27
Obrázek 28: lykopen, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	27
Obrázek 29: β -karoten, zdroj: autor, podle Moravcové (2006)	28
Obrázek 30: lutein, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	28
Obrázek 31: iridan, zdroj: autor, podle Velíška (2002)	29

Obrázek 32: světlice barvířská, zdroj: Thomé (1885)	32
Obrázek 33: mořena barvířská, zdroj: Thomé (1885)	33
Obrázek 34: boryt barvířský, zdroj: Masclef (1891)	34
Obrázek 35: indigovník barvířský, zdroj: Hochenleitter (1778)	35
Obrázek 36: kopřiva dvoudomá, zdroj: Deyl a Hísek (1973).....	36
Obrázek 37: pivoňka lékařská, zdroj: Hooker (1832)	37
Obrázek 38: bez černý, zdroj: Thomé (1885).....	38
Obrázek 39: rezeda barvířská, zdroj: Ypey (1813).....	39
Obrázek 40: kurkumovník dlouhý, zdroj: Köhler (1897).....	40
Obrázek 41: aksamitník vzpřímený, zdroj: Blanco (1880-1883b)	41
Obrázek 42: třezalka tečkovaná, zdroj: Deyl a Hísek (1973).....	42
Obrázek 43: ořešák královský, zdroj: Thomé (1885)	43
Obrázek 44: šafrán setý, zdroj: Thomé (1885).....	44
Obrázek 45: oreláník barvířský, zdroj: Blanco (1880-1883a).....	45
Obrázek 46: řepa obecná (červená řepa), zdroj: Evan-Amos (2011)	45
Obrázek 47: odbarvený karafiát (vlevo), původní červený karafiát (vpravo), zdroj: autor.	49
Obrázek 48: vyvíjecí aparatura, zdroj: autor	51
Obrázek 49: výluh z plodů brusnice borůvky, vlevo původní výluh, vpravo po odbarvení oxidem siřičitým, zdroj: autor	52
Obrázek 50: výluh z listů červeného zelí, vlevo původní výluh, vpravo po odbarvení oxidem siřičitým, zdroj: autor	53
Obrázek 51: výluh z plodů brusnice borůvky, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí, zdroj: autor.....	55
Obrázek 52: výluh z plodů ostružiníku maliníku, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí, zdroj: autor	55
Obrázek 53: výluh z okvětních lístků hvozdíku zahradního, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí, zdroj: autor.....	56
Obrázek 54: výluh z červeného zelí, zleva: kyselé, neutrální, zásadité prostředí, zdroj: autor	56
Obrázek 55: chromatogram z kruhové chromatografie pigmentů červené papriky, zdroj: autor	60
Obrázek 56: chromatografie barviv červené papriky (obdélníkový chromatogram z filtračního papíru), zdroj: autor.....	61

Obrázek 57: listy poděňky <i>Tradescantia pallida</i> , nahoře spodní strana listu, dole svrchní strana listu, zdroj: autor	63
Obrázek 58: rozvrstvení barviv (horní vrstva benzinu s chlorofyly), zdroj: autor	64
Obrázek 59: rozvrstvení barviv, vrstva benzinu s chlorofyly, spodní ethanolová vrstva s anthokyaniny, zdroj: autor	64
Tabulka 1: seznam evidenčních kódů, podle: Curla (1965), Duckwortha (2013), Hsieha (2001), Orosoy, Torrese, Fidalga a Abaldeho (2000), Veliška (2002), Vrbové (2001), vyhlášky č. 4/2008 Sb.....	47

11 Přílohy

Následující přílohy obsahují řešení pracovních listů a jednotlivých úloh, jejichž zadání obsahuje bakalářská práce v kapitole č. 8. Pro odlišení je řešení vyznačeno červenou barvou.

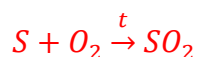
11.1 Doplnující úlohy: Změna květu rostliny působením SO₂

Shrnující a doplňující úkoly k pokusu:

1. Nehodící pojem škrtni a doplň chybějící text:

Změnu barviv hvozdíku zahradního způsobil ~~oxid siřičitý~~/oxid ~~sírový~~. Po rozpuštění ve vodě se chová jako ~~kyselý~~/zásaditý roztok. Tento plyn je jedním z činitelů, kteří způsobují tzv. **kyselé deště**.

2. Zapiš chemickou rovnici, jak byl připraven oxid působící na rostlinu:



3. Zařaď hvozdík zahradní do řádu a čeledi a vyhledej, jakou hlavní skupinu pigmentů obsahují jeho květy:

Řád hvozdíkotvaré, čeleď hvozdíkovité. Hlavní skupinou jsou anthokyany.

4. Popiš změny, které proběhly na hvozdíku zahradním:

Došlo k odbarvení květu z červené barvy na bílou.

5. Vyhledej v učebnici nebo na internetu, jaké další látky způsobují kyselé deště:

Oxidy síry, oxidy dusíku.

11.2 Doplnující úlohy: Změna roztoku obsahující anthokyany působením SO₂

Shrnující a doplňující úkoly k pokusu:

1. Zařaď brusnici borůvku do řádu a čeledi a doplň typ plodu, který vytváří.

Brusnice borůvka se řadí do řádu vřesovcotvarých a do čeledi vřesovcovitých. Plodem je bobule.

2. Jakou hlavní skupinu pigmentů obsahují plody brusnice borůvky a listy červeného zelí?

Hlavní složkou plodů brusnice borůvky a listů červeného zelí jsou anthokyany.

3. Pokus se vysvětlit, proč dochází v Erlenmayerově baňce ke vzniku žlutého zabarvení.

Žluté zabarvení je způsobeno vznikající sírou v pevném stavu.

11.3 Pracovní list: Změna barvy pigmentů v závislosti na pH

Anthokyaniny jsou rostlinné pigmenty, které reagují změnou barvy na pH okolního prostředí. Proto je lze použít jako přírodní indikátory.

Úkol: Pozoruj změny barev vybraných rostlinných materiálů v závislosti na pH prostředí.

Pomůcky a chemikálie: Výluh z plodů brusnice borůvky, výluh z plodů ostružiníku maliníku, výluh z okvětních lístků hvozdíku zahradního, výluh z listů červeného zelí, ocet, roztok jedlé sody, pipeta, zkumavky.

Postup:

- Každý výluh předložíme do tří zkumavek (asi 3 cm³).
- Do jedné ze tří zkumavek vždy přikápneme pipetou pár kapek octa.
- Do druhé ze tří zkumavek přikápneme pipetou pár kapek roztoku jedlé sody.
- Pozorujeme barevné změny. Barvy příslušných roztoků zapíšeme do tabulky.

Pozorování:

Do tabulky doplň pozorované změny barev roztoků:

	kyselý roztok	neutrální roztok	zásaditý roztok
plod brusnice borůvky	červený	fialový	tmavě modrý
plod ostružiníku maliníku	oranžovo-červený	červený	fialový
okvětní lístky hvozdíku zahradního	červený	růžovo-fialový	zelený
listy červeného zelí	červený	tmavě modrý	zelený

Shrnutí:

Doplň chybějící pojmy:

Rostlinná barviva anthokyaniny jsou ve vodě **rozpuštěná**. Díky nim můžeme přírodní cestou určit, zda je daný roztok **kyselý**, tomu odpovídají hodnoty pH **menší než 7**, nebo **zásaditý**, tomu odpovídají hodnoty pH **větší než 7**.

Doplňující úkoly:

1. Vysvětli pojem pH:

pH je ukazatel, pomocí kterého určujeme číselnou hodnotu kyselosti nebo zásaditosti roztoku.

2. Vysvětli pojem indikátor:

Jinými slovy se nazývá činidlo. Indikátor je látka, kterou můžeme identifikovat aktuální stav jiné látky, respektive roztoku.

3. Jaké látky se využívají nejvíce v laboratořích jako indikátory? Jmenuj alespoň tři:

Fenolftalein, lakmus, methyloaranž, methylčerven, thymolová modř.

4. Zařaď rostliny, které jsi v pokusu použil/a, do řádu a čeledi:

Brusnice borůvka patří do řádu vřesovcotvarých a do čeledi vřesovcovitých, ostružiník maliník do řádu růžotvarých a do čeledi růžovitých, hvozdík zahradní do řádu hvozdíkotvarých a do čeledi hvozdíkovitých a hlávkové zelí do řádu brukvotvarých a do čeledi brukvovitých.

5. Urči, jaké typy plodů vytváří dané rostliny:

	brusnice borůvka	ostružiník maliník
typ plodu	bobule	souplodí peckoviček

11.4 Pracovní list: Obsahuje červená paprika více než jedno barvivo?

Paprika setá patří do čeledi lilkovitých a vyznačuje se jako významná zemědělská plodina, která je sázena v teplejších oblastech. Pěstují se papriky různých barev a tvarů.

Úkol: Zjistí, zda červená paprika obsahuje více než jeden pigment.

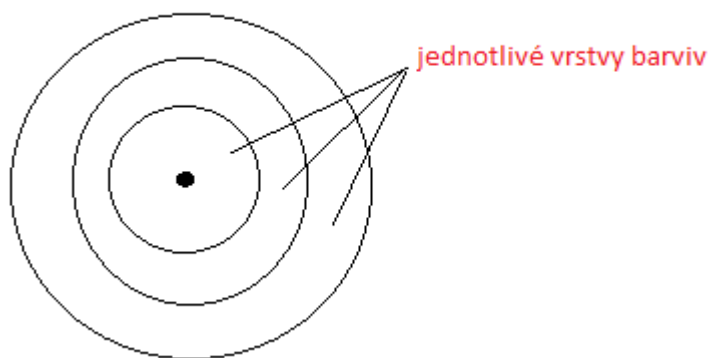
Pomůcky a chemikálie: Paprika setá (kapie), lékařský benzin, aceton, křemenný písek, filtrační papír, provázek (asi 10 cm), třecí miska s tloučkem, pipeta, krystalizační miska, nůž, nůžky.

Postup:

- Z filtračního papíru vystříhneme kolečko o průměru větším (asi o 2 cm), než je krystalizační miska.
- Uprostřed filtračního papíru uděláme díрку, kterou provlečeme provázek. Na jednom konci uděláme uzel, který se přímo bude dotýkat filtračního papíru.
- Papriku rozkrájíme na malé kousky a ve třecí misce rozmělníme společně s trochou písku a acetonu.
- Pipetou odebereme roztok, který kápeme (1–2 kapky) na uzel vytvořený na provázku.
- Krystalizační misku naplníme do čtvrtiny benzinem.
- Filtrační papír s provázkem položíme na krystalizační misku.
- Pokus ukončíme, když kapalina dosahuje 2 cm od okraje filtračního papíru.

Pozorování:

Schematicky zakresli výsledek z chromatogramu.



Kolik barviv obsahovala červená paprika?

Paprika obsahovala minimálně čtyři barviva.

Shrnutí:

Vysvětli pojem chromatografie:

Chromatografie je analytická metoda, při které dochází k oddělování složek ze stejnorodých směsí plynného nebo kapalného stavu. Tato metoda je založena na různé rychlosti unášení částic v rozpouštědle.

Na internetu vyhledej příklady barviv, které obsahuje červená paprika:

Kapsanthin, β -karoten, cyklopentylketony, zeaxanthin.

Proč bylo nutné použít jako rozpouštědlo aceton? Mezi jaký typ rozpouštědel patří?

Většina barviv červené papriky je ve vodě nerozpustná, proto musíme použít jiný typ rozpouštědla (nepolární). Aceton patří právě mezi rozpouštědla nepolární.

11.5 Pracovní list: Obsahují fialové listy chlorofyl?

Chlorofyly jsou známé pro své zelené zbarvení. Obsahují však takové listy podeňky také chlorofyly i přes to, že mají fialovou barvu?

Úkol: Zjisti, zda obsahují fialové listy podeňky chlorofyly.

Pomůcky a chemikálie: listy podeňky, ethanol, lékařský benzin, zkumavka, gumová zátka, třecí miska s tloučkem, stojan, filtrační kruh, nálevka, filtrační papír, nůžky, kádinka, pipeta.

Postup:

- Listy podeňky rozstříháme na malé kousky a předložíme do třecí misky.
- Přidáme ethanol, a tloučkem co nejlépe rozmělníme.
- Přefiltrujeme do kádinky.
- Filtrát přeneseme pipetou do zkumavky (asi 3 cm³) a přidáme stejné množství lékařského benzínu.
- Zkumavku zazátkujeme a řádně protřepeme.

Pozorování:

Popiš, k čemu došlo ve zkumavce, schematicky nakresli a popiš:

Ve zkumavce došlo k rozvrstvení barviv. Do benzínu se vytřepaly chlorofyly, anthokyany zůstaly v ethanolové vrstvě.



Shrnutí:

V následujícím odstavci škrtni nevhodící se pojem:

Rostlinné chlorofyly a živočišné barvivo hemoglobin ~~patří~~*nepatří* do stejné skupiny pigmentů. Mimo jejich výskyt se také liší v obsahu kovu. Chlorofyly váží ve svých molekulách atom *hořčíku*~~železa~~, naopak hemoglobin obsahuje atom ~~hořčíku~~*železa*. Chlorofyly mají ~~hydrofilní~~*hydrofobní* charakter. Pro rostliny jsou velmi důležité. Zajišťují totiž v rostlině správný průběh ~~dýchání~~*fotosyntézy*.